

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2004 年 3 月 4 日 (04.03.2004)

PCT

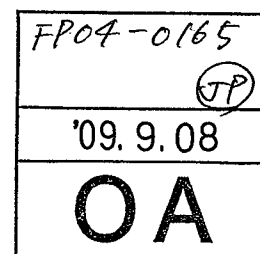
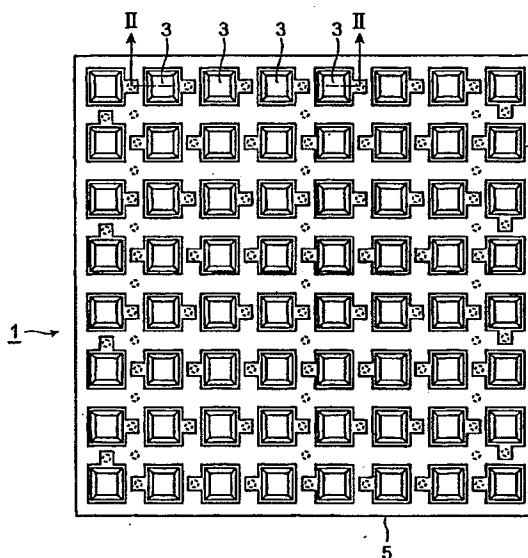
(10) 国際公開番号  
WO 2004/019411 A1

- (51) 国際特許分類<sup>7</sup>: H01L 27/14, G01T 1/20, H04N 5/32 (72) 発明者: 柴山 勝己 (SHIBAYAMA, Katsumi); 〒435-8558 静岡県 浜松市 市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2003/010093
- (22) 国際出願日: 2003 年 8 月 7 日 (07.08.2003) (74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外(HASEGAWA, Yoshiki et al.); 〒104-0061 東京都 中央区 銀座一丁目10番6号 銀座ファーストビル 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ: (81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- 特願2002-233562 2002 年 8 月 9 日 (09.08.2002) JP  
特願2003-15318 2003 年 1 月 23 日 (23.01.2003) JP
- (71) 出願人: 浜松ホトニクス株式会社 (HAMAMATSU PHOTONICS K.K.) [JP/JP]; 〒435-8558 静岡県 浜松市 市野町1126番地の1 Shizuoka (JP).

[続葉有]

(54) Title: PHOTODIODE ARRAY, PRODUCTION METHOD THEREFOR, AND RADIATION DETECTOR

(54) 発明の名称: フォトダイオードアレイ、その製造方法、及び放射線検出器



(57) Abstract: A photodiode array (1) comprising an incident-surface-side recesses (7) formed by being thinned from the incident surface side of a light to be detected and arranged in an array form, and an opposite-surface-side recesses (11) formed by thinning, from the opposite surface side of the incident surface, an area corresponding to another area where the incident-surface-side recesses (7) are formed and arranged in an array form. A p-n junction (3) formed at the bottom of an opposite-surface-side recess (11) allows a p-n junction type photodiode to be arranged in an array form.

(57) 要約: フォトダイオードアレイ 1 では、被検出光の入射面側から薄化されることにより形成された入射面側凹部 7 がアレイ状に配列され、入射面側凹部 7 が形成された領域に対応する領域が入射面の反対面側から薄化されることにより形成された反対面側凹部 11 がアレイ状に配列されている。

[続葉有]

WO 2004/019411 A1



(84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

反対面側凹部11の底部にpn接合3が形成されることによりpn接合型のフォトダイオードがアレイ状に配列されている。

## 明細書

フォトダイオードアレイ、その製造方法、及び放射線検出器

### 技術分野

5      【0001】 本発明は、フォトダイオードアレイ、その製造方法、及び放射線検出器に関する。

### 背景技術

10      【0002】 CT用フォトダイオードアレイを実装する際は三次元方向への実装が必要である。三次元で実装を行うには、光入射面の反対側より信号を出力する必要がある、このためには一般的に裏面入射型フォトダイオードアレイが用いられる。

15      【0003】 裏面入射型のフォトダイオードアレイにおいては、pn接合部と光入射面との間の距離が大きいと、基板内で発生したキャリアは、pn接合部までの移動過程で再結合し信号として取り出せなくなる。したがって、検出感度向上のためには、pn接合部と光入射面との距離を可能な限り小さくする必要がある。

20      【0004】 この距離を小さくする裏面入射型フォトダイオードアレイが提案されている（特開平7-333348号公報）。

    【0005】 図15はこのフォトダイオードアレイの側断面図である。

25      【0006】 このフォトダイオードアレイ101では、基板の一方側からn型層103に角柱状のp型拡散層105を形成している。

    【0007】 しかしながら、p型拡散層105は不純物を注入することにより形成されているため、十分な感度が得られるための厚さにまで不純物層を均一に形成するのは困難である。

    【0008】 このように、上記フォトダイオードアレイは製造が困難であるという欠点がある。

    【0009】 また、フォトダイオードアレイ全体を薄板化することとすれば機

械的強度を維持できず、その後の工程で破損しやすいという問題がある。

【0010】 そこで、フォトダイオードアレイを部分的に薄膜化する手法が考えられる。すなわち、フォトダイオードが形成された領域のみを薄くし、機械的強度を維持しつつp n接合部と光入射面との距離を小さくすることが考えられる。

【0011】 図16はこのフォトダイオードアレイの側断面図である。

【0012】 このフォトダイオードアレイでは、n型層103のp型拡散層105が形成された領域のみを被検出光入射面側から薄化し、薄化しない領域を枠部として元々の半導体基板の厚さのまま残し、機械的強度を維持している。このフォトダイオードアレイは、p n接合部が形成された側（表面）とは反対側（裏面）から、それぞれのp n接合部に対応する位置に、n型基板の凹部が形成されている。すなわち、1つのp n接合部画素に対応して1つの凹部が形成されている。p n接合部画素と隣接するp n接合部画素との間には凸部が形成されることとなる。

#### 15 発明の開示

【0013】 しかしながら、上記フォトダイオードアレイを放射線検出器として用いるとすると、フォトダイオードアレイの凸部をコレットに吸着して実装基板にフリップチップボンディングしたり、シンチレータをフォトダイオードアレイの凸部に当接させることとなる。

20 【0014】 その際に凸部の当接面が機械的なダメージを受け、リーク電流やキャリア発生による暗電流が増加する。

【0015】 この凸部はn型層で構成されているので、凸部自体に入射する光や放射線によりキャリアが発生し、何れかのp n接合部画素に入射することとなるためクロストークの原因となる。

25 【0016】 また、このフォトダイオードアレイにおいては、裏面側から略55°の斜面で凹部が形成されるため、p n接合形成面側に近づくほど凹部の面積

が狭くなり、凹部底面の面積が小さくなってしまう。

【0017】 よって、機械的強度を得るために枠部の幅を確保しようとする、 $p-n$ 接合形成面側において十分な光検出部面積を取ることができず、開口率の向上を図ることができない。

- 5      【0018】 本発明は、上記課題を解決するためになされたものであり、機械的強度を確保しつつ、開口率を向上させて検出感度を向上させることができるフォトダイオードアレイ及び放射線検出器を提供することを目的とする。

- 10      【0019】 上記課題を解決するため、本発明に係るフォトダイオードアレイは、光入射面側に複数の入射面側凹部を有すると共に前記光入射面とは逆側に前記入射面側凹部のそれぞれに対応して複数の反対面側凹部を有する半導体基板を備え、前記半導体基板の前記反対面側凹部の底部に  $p-n$  接合を備えたことを特徴とする。

【0020】 本発明に係るフォトダイオードアレイでは、半導体基板の両面に凹部が形成されている。

- 15      【0021】 個々の凹部の底部は対向することとなるので、反対面側凹部の底部に形成された  $p-n$  接合と光入射面との距離は小さくなる。

【0022】 また、 $p-n$  接合が形成された領域以外は、元々の基板の厚さのまま枠部として残すことができるので、半導体基板の機械的強度を維持することができる。

- 20      【0023】 凹部は、半導体基板を両面から薄化されることにより形成することができる。

【0024】 薄化時においては、基板の深さ方向に進行するに従って凹部の底部の面積が小さくなる。

- 25      【0025】 したがって、 $p-n$  接合と光入射面との距離が同じであれば、何れか片面側からのみ凹部が形成された場合よりも、両面に凹部が形成された場合の方が凹部底面の面積を広くすることができ、光検出部の面積を増加、すなわち、

開口率を向上することができる。

【0026】 また、入射面側凹部の底面の面積が、反対面側凹部の底面の面積よりも大きい場合には、入射面側凹部の周囲に位置する厚い枠部で減衰するエネルギー線の量を減少させることができ、開口率を向上させることができる。

- 5      【0027】    p n接合は反対面側凹部の底部から当該反対面側凹部を囲む反対面側枠部にまで延びていることを特徴としてもよい。

【0028】    この場合、底部と枠部間で発生する不要キャリアの影響を抑制することができる。

- 10      【0029】    さらに、p型不純物拡散層が反対面側枠部にまで伸びているので、反対面側枠部に形成するパンプ電極とp型不純物拡散層を接続するアルミ電極を反対面側凹部の内側面を這わせる必要がなくなりプロセスが容易になる。

【0030】    入射面側凹部を囲む入射面側枠部には、不純物が高濃度に添加された高不純物濃度領域が形成されていることとしてもよい。

- 15      【0031】    この場合、入射面側枠部に入射した光によって発生したキャリアは高不純物濃度領域で再結合し消滅するため、反対面側凹部の底部のp n接合まで移動するキャリアが減少し、各フォトダイオード間のクロストークを低減することができる。

【0032】    入射面側凹部を囲む入射面側枠部は、被検出光の入射方向から見て格子状となるように形成されていることとしてもよい。

- 20      【0033】    この場合、各入射面側凹部の位置はマトリクス状に座標が決定されるので、被検出光の入射位置が容易に判別できる。

【0034】    本フォトダイオードアレイは、反対面側凹部を囲む反対面側枠部上に、p n接合からなるフォトダイオードの出力を取り出す電極パッドを備えることとしてもよい。

- 25      【0035】    この場合、実装の際に、凹部からみて凸部に相当する枠部上の電極パッドを実装配線基板に当接させることができ、実装配線基板の配線が容易に

なる。

【0036】 本フォトダイオードアレイは、反対面側凹部の側面部を通りフォトダイオードと電極パッドとを電気的に接続する配線電極を備えることとしてもよい。

- 5     【0037】 すなわち、配線電極は裏面から入射する被検出光を遮蔽することのない位置で、フォトダイオードと電極パッドとを接続することができ、また、電極パッドからフォトダイオードにバイアス電圧を与えたり信号を取り出すことができる。

- 10    【0038】 本発明に係る放射線検出器は、上述のフォトダイオードアレイと、フォトダイオードアレイへの被検出光の入射面前方に配設されたシンチレータとを備えることを特徴とする。

【0039】 シンチレータに照射されたX線等のエネルギー線は、可視光に変換されるので、当該可視光をp n接合からなるフォトダイオードで検出することができる。

- 15    【0040】 また、本発明のフォトダイオードアレイは、被検出光の入射面と反対面側に、p n接合型の複数のフォトダイオードがアレイ状に形成された半導体基板を備え、半導体基板は、複数のフォトダイオードの形成された領域が被検出光の入射面側から薄化されることにより、当該複数のフォトダイオードの形成された領域に挟まれた領域が被検出光の入射面側に向かって断面凸形状の凸部と  
20    され、凸部には、フォトダイオードの被検出光の入射面側と同一導電型の高濃度不純物領域が形成されていることを特徴とする。

- 【0041】 上記フォトダイオードアレイによれば、断面凸形状の凸部に入射した光によって発生したキャリアは高不純物濃度領域で再結合し消滅するため、フォトダイオード間のクロストークを低減することができる。同時にフォトダイ  
25    オードの形成された領域のみを薄化し、それ以外の領域は肉厚のままとすることにより、基板全体の機械的強度を維持することができ、基板自体の反り・歪み等

の発生を抑えることができる。

【0042】 また、本発明のフォトダイオードアレイは、少なくとも被検出光の入射面と反対面側が第1導電型にされた半導体基板と、この半導体基板の反対面側の第1導電型領域内部にアレイ状に配列して形成された第2導電型の複数の光検出層と、を備え、半導体基板の被検出光の入射面側には、光検出層に対応する領域が当該入射面側より薄化されることによりアレイ状に配列された複数の凹部が形成され、複数の凹部を仕切る凸部には、第1導電型の不純物が高濃度に添加されていることを特徴とする。

【0043】 また、本発明のフォトダイオードアレイは、第1導電型の不純物が高濃度に添加されている半導体基板と、この半導体基板の被検出光の入射面と反対面側に接して設けられた第1導電型の半導体層と、この第1導電型の半導体層の内部にアレイ状に配列して形成された第2導電型の複数の光検出層と、を備え、半導体基板は、光検出層に対応する領域が除去されることにより格子状に成形されていることを特徴とする。

【0044】 また、本発明のフォトダイオードアレイは、半導体基板と半導体層との間には、エッチングストップ層が介在されていることを特徴としてもよい。

【0045】 上記フォトダイオードによれば、エッチングストップ層を有しているので、凹部形成工程においてその層でエッチングをストップすることができ、該工程の制御が容易となる。

【0046】 また、本発明のフォトダイオードアレイは、半導体基板と半導体層との間には、絶縁層が介在されていることを特徴としてもよい。

【0047】 上記フォトダイオードによれば、半導体基板と半導体層との間に絶縁層を有しているので、半導体基板で生じたキャリアが絶縁層で止められ、半導体層内部のフォトダイオードを形成するpn接合部まで達することがなくなるため、クロストークをさらに低減することができる。

【0048】 また、本発明のフォトダイオードアレイは、半導体基板と半導体



層は、互いに接する界面において結晶方位が交差することを特徴としてもよい。

【0049】 上記フォトダイオードによれば、半導体基板と半導体層が、互いに接する界面において結晶方位が交差しているので、凹部形成工程において半導体基板と半導体層の界面でエッチングをストップすることができ、該工程の制御が容易となる。

【0050】 本発明のフォトダイオードアレイの製造方法は、少なくとも被検出光の入射面側とその反対面側が第1導電型の半導体で形成され、入射面側には第1導電型の不純物が高濃度に添加されている基板を準備する第1工程と、基板の反対面側の第1導電型領域の内部に第2導電型の複数の光検出層をアレイ状に配列させて形成する第2工程と、基板の光検出層に対応する領域を入射面側よりエッチングして薄化することにより、アレイ状に配列された複数の凹部と、これらを仕切る格子状の第1導電型の不純物が高濃度に添加された凸部を形成する第3工程とを備えることを特徴とする。

【0051】 本発明のフォトダイオードアレイの製造方法は、第1工程は、第1導電型の半導体基板を準備する工程と、半導体基板の被検出光の入射面側に第1導電型の不純物を高濃度に添加させる工程と、を有することを特徴としてもよい。

【0052】 上記製造方法によれば、第1導電型の不純物領域を他の方法（例えば基板の貼り合わせ等）によって形成した場合と異なり、基板の被検出光の入射面側ほど不純物濃度が高く凸部の不純物濃度が高い。このため、発生したキャリアを再結合・消滅させる効果が高くなり、暗電流、リーク電流、クロストークを低減させる効果も大きくなる。

【0053】 本発明のフォトダイオードアレイの製造方法は、第1工程は、第1導電型の不純物が高濃度に添加されている半導体基板を準備する工程と、半導体基板の被検出光の入射面と反対面側に第1導電型の半導体層を結晶成長させる工程と、を有することを特徴としてもよい。

【0054】 上記製造方法によれば、第1導電型の半導体層を結晶成長によって形成しているので、エッチング工程で平坦な凹部の面を形成することができる。

5 【0055】 また、上記製造方法によれば、第1導電型の不純物が高濃度に添加されている半導体基板は厚く、深さ方向で濃度が均一にできるため、凸部に入射した短波長から長波長の光によって発生するキャリアを再結合させることが可能となり、クロストークを低減させる効果がある。

10 【0056】 本発明のフォトダイオードアレイの製造方法は、第1工程は、第1導電型の不純物が高濃度に添加されている半導体基板を準備する工程と、半導体基板の被検出光の入射面と反対面側に第1導電型の半導体薄板を貼り合わせる工程と、を有し、半導体基板と半導体薄板は、貼り合せ界面において結晶方位が交差するようにしたことを特徴としてもよい。

15 【0057】 上記製造方法によれば、半導体基板と半導体薄板が、貼り合わせ界面において結晶方位が交差しているので、凹部形成工程において半導体基板と半導体薄板の界面でエッチングをストップすることができ、該工程の制御が容易となる。

【0058】 また、上記製造方法によれば、第1導電型の不純物が高濃度に添加されている半導体基板は厚く、深さ方向で濃度が均一にできるため、凸部に入射した短波長から長波長の光によって発生するキャリアを再結合させることが可能となり、クロストークを低減させる効果がある。

20 【0059】 本発明のフォトダイオードアレイの製造方法は、第1工程は、第1導電型の不純物が高濃度に添加されている半導体基板を準備する工程と、半導体基板の被検出光の入射面と反対面側に、エッチングストップ膜を介在させて第1導電型の半導体薄板を貼り合わせる工程と、を有することを特徴としてもよい。

25 【0060】 上記製造方法によれば、基板の第1導電型の不純物が高濃度に添加されている半導体基板と第1導電型の半導体薄板との間にエッチングストップ層を有しているので、凹部形成工程においてその層でエッチングをストップする

ことができ、該工程の制御が容易となる。

【0061】 また、本発明のフォトダイオードアレイの製造方法は、第1導電型の不純物が高濃度に添加されている半導体基板を準備する工程と、半導体基板の被検出光の入射面と反対面側に、絶縁層を介在させて第1導電型の半導体薄板を貼り合わせる工程と、を有することを特徴としてもよい。

【0062】 上記製造方法によれば、半導体基板と半導体層との間に絶縁層を形成している。このため半導体基板で生じたキャリアが絶縁層で止められ、半導体層内部のフォトダイオード受光面まで達することがなく、クロストークをさらに低減することができるフォトダイオードを製造することができる。

【0063】 本発明の放射線検出器は、本発明のフォトダイオードアレイと、このフォトダイオードアレイの被検出光の入射面側に取り付けられ、放射線の入射により発光するシンチレータパネルと、を備えることを特徴とする。

【0064】 また、本発明の放射線検出器は、本発明の製造方法で製造されたフォトダイオードアレイと、このフォトダイオードアレイの被検出光の入射面側に取り付けられ、放射線の入射により発光するシンチレータパネルと、を備えることを特徴とする。

【0065】 上記放射線検出器は、本発明のフォトダイオードアレイを備えている。このためフォトダイオードアレイの凸部で発生したキャリアは再結合・消滅するので暗電流やクロストークを低減することができる。また実装の際にフォトダイオードアレイの凹部に光検出領域があるため機械的ダメージを受けにくく、光検出領域の欠陥が生じにくい。

#### 図面の簡単な説明

【0066】 図1は第1実施形態に係るフォトダイオードアレイの概略平面図である。

【0067】 図2は第1実施形態に係るフォトダイオードアレイの断面図である。

【0068】 図3は第1実施形態に係るフォトダイオードアレイの製造工程を説明する図である。

【0069】 図4は第1実施形態に係るフォトダイオードアレイの製造工程を説明する図である。

5 【0070】 図5は第1実施形態に係るフォトダイオードアレイの製造工程を説明する図である。

【0071】 図6は第1実施形態に係るフォトダイオードアレイの製造工程を説明する図である。

10 【0072】 図7は第1実施形態に係るフォトダイオードアレイの製造工程を説明する図である。

【0073】 図8は第1実施形態に係るフォトダイオードアレイの製造工程を説明する図である。

【0074】 図9は第1実施形態に係るフォトダイオードアレイの製造工程を説明する図である。

15 【0075】 図10は第1実施形態に係るフォトダイオードアレイの製造工程を説明する図である。

【0076】 図11は第1実施形態に係るフォトダイオードアレイの製造工程を説明する図である。

20 【0077】 図12は第1実施形態に係るフォトダイオードアレイの製造工程を説明する図である。

【0078】 図13Aは第1実施形態に係るフォトダイオードアレイの概略断面図である。

【0079】 図13Bは比較例のフォトダイオードアレイの概略断面図である。

【0080】 図14は第1実施形態に係る放射線検出器の断面図である。

25 【0081】 図15は従来技術に係るフォトダイオードアレイの断面図である。

【0082】 図16は比較例に係るフォトダイオードアレイの概略断面図であ

る。

【0083】 図17は第2実施形態のフォトダイオードアレイの上面図である。

【0084】 図18は第2実施形態のフォトダイオードアレイの側断面図である。

5   【0085】 図19は第2実施形態のフォトダイオードアレイの製造工程を説明する図である。

【0086】 図20は第2実施形態のフォトダイオードアレイの製造工程を説明する図である。

10   【0087】 図21は第2実施形態のフォトダイオードアレイの製造工程を説明する図である。

【0088】 図22は第2実施形態のフォトダイオードアレイの製造工程を説明する図である。

【0089】 図23は第2実施形態のフォトダイオードアレイの製造工程を説明する図である。

15   【0090】 図24は第3実施形態のフォトダイオードアレイの側断面図である。

【0091】 図25は第4実施形態のフォトダイオードアレイの側断面図である。

20   【0092】 図26は第5実施形態のフォトダイオードアレイの側断面図である。

【0093】 図27は実施形態に係る半導体基板の側断面図である。

【0094】 図28は実施形態に係る放射線検出器の側断面図である。

【0095】 図29Aは受光画素部とバンプ電極の位置関係を表す上面図である。

25   【0096】 図29Bは図29Aに示したフォトダイオードアレイのXIV-XIV断面図である。

【0097】 図30Aは受光画素部とバンプ電極の位置関係を表す上面図である。

【0098】 図30Bは図30Aに示したフォトダイオードアレイのXV-XV断面図である。

5 【0099】 図31Aは受光画素部とバンプ電極の位置関係を表す上面図である。

【0100】 図31Bは図31Aに示したフォトダイオードアレイのXVI-XVI断面図である。

10 【0101】 図32Aは図32Bに示したフォトダイオードアレイのチップ端部分の拡大図である。

【0102】 図32Bは実施形態に係るフォトダイオードアレイチップ端の受光画素部とバンプ電極の位置関係を表す上面図である。

発明を実施するための最良の形態

15 【0103】 以下、図面を参照しながら実施の形態に係る放射線撮像装置について説明する。なお、説明において、同一要素又は同一機能を有する要素には、同一符号を用いることとし、重複する説明は省略する。

(第1実施形態)

20 【0104】 図1は実施形態に係るフォトダイオードアレイを表面側から見たフォトダイオードアレイの平面図であり、図2は図1に示したフォトダイオードアレイのII-II矢印断面図である。以下の説明において、被検出光の入射面を裏面(back side)とし、被検出光の入射面の反対側の面を表面(front side)とする。

25 【0105】 図1に示すように、本実施形態のフォトダイオードアレイ1は複数のpn接合3が2次元的に縦横に規則正しく配列されており、pn接合の一つ一つがフォトダイオードの光感応画素としての機能を有している。

【0106】 フォトダイオードアレイ1はシリコン(Si)からなるn型の半

導体基板 5 を備えている。n 型半導体基板 5 は、n 型半導体層 5 a と基板裏面側から n 型不純物を拡散してなる n<sup>+</sup> 型高不純物濃度層 5 b とを有している。

5      【0107】    n 型半導体基板 5 の裏面側は、目的とする光感応画素を構成する所定のピッチ、所定の大きさ・深さで四角錐状に凹部が形成されることで薄化されており、この薄型部（凹部）は入射面側凹部 7 を構成し、2 次元的に配列されている。隣接する入射面側凹部 7 同士に挟まれた領域は入射面側凹部 7 を囲む入射面側枠部 9 を構成する。

10      【0108】    n 型半導体基板 5 の表面側には入射面側凹部 7 に対応する位置が薄化されることにより反対面側凹部 11 が形成され、二次元状に配列されている。隣接する反対面側凹部 11 同士に挟まれた領域は、反対面側凹部 11 を囲む反対面側枠部 13 を形成している。n 型半導体基板 5 には、入射面側凹部 7 と反対面側凹部 11 とで厚み方向に挟まれた薄化部分である薄型部がアレイ状に配列されている。

15      【0109】    n 型半導体基板 5 の薄型部以外の部分は入射面側枠部 9 及び反対面側枠部 13 によって厚板部となっている。薄型部が所定のピッチ、所定の大きさで 2 次元的にマトリックス配列されていることから、枠部としての厚板部は被検出光の入射方向から見て格子状に形成されていることとなる。この場合、各入射面側凹部の位置はマトリックス状に座標が決定されるので、被検出光の入射位置が容易に判別できる。

20      【0110】    反対面側凹部 11 及び入射面側凹部 7 の内側面は、基板表面と略 55° の角度をなし、四角錐台を構成している。反対面側凹部 11 及び入射面側凹部 7 の形状は相似形であっても相似形でなくてもよく、深さが同じであっても相違していてもよいが、本例の場合、入射面側凹部 7 の深さは反対面側凹部 11 の深さよりも浅く、入射面側凹部 7 の底面の面積が、反対面側凹部 11 の底面の面積よりも大きくなるように設定されている。この場合、入射面側凹部 7 の周囲  
25      に位置する厚板の枠部で減衰するエネルギー線の量を減少させることができ、開

口率を向上させることができる。

【0111】 n型半導体基板5は厚さ100～350 $\mu$ m、半導体層5aの不純物濃度は $1 \times 10^{12} \sim 10^{15}/\text{cm}^3$ である。入射面側凹部7の大きさは1mm $\times$ 1mm、配列ピッチは縦横とも1.5mm、深さは50 $\mu$ m程度となっている。反対面側凹部11は大きさが入射面側凹部7よりも小さくなっており、配列ピッチについては入射面側凹部7と同一である。

【0112】 それぞれの反対面側凹部11には、p型不純物拡散層15が、当該反対面側凹部11を囲む反対面側枠部13から当該反対面側凹部11の底面まで連続して延びている。n型半導体基板5とp型不純物拡散層15との間で形成されるpn接合3により、フォトダイオードの光感応画素が構成されている。隣接するp型不純物拡散層15同士の間には、フォトダイオード間を分離するチャネルストップとして機能するn<sup>+</sup>型不純物領域（分離層）17が配置されている。

【0113】 p型不純物拡散層15の不純物濃度は $1 \times 10^{13} \sim 10^{20}/\text{cm}^3$ 、n<sup>+</sup>型不純物領域（分離層）17の不純物濃度は $1 \times 10^{13} \sim 10^{20}/\text{cm}^3$ である。

【0114】 p型不純物拡散層15は、反対面側枠部13上に配設されたアルミ電極19（配線電極）に接触して接続されており、アルミ電極19、アンダーバンプメタル（以下「UBM」という）23、及びバンプ電極25（電極パッド）を介して表面側から外部と電気的なコンタクトを取り、フォトダイオードの出力が外部に取り出されるようになっている。

【0115】 本実施形態では、p型不純物拡散層15が反対面側枠部13にまで連なり、バンプ電極25の近傍に延びて形成され、アルミ電極19は反対面側枠部13上に形成され、p型不純物拡散層15とUBM23とを電気的に接続している。p型不純物拡散層15が反対面側凹部11の底部にのみ形成されている場合には、アルミ電極は、p型不純物拡散層15と反対面側枠部13に配設されたバンプ電極25とを接続すべく、反対面側凹部11の内側の側面部に形成されることとなる。UBM23はSiN又はSiO<sub>2</sub>などからなるパッシベーション層



21を厚み方向に貫通し、アルミ電極19とバンプ電極25とを電氣的に接続している。

【0116】 また、図示しないが、基板電極も同様に分離層(n+)にコンタクトホールを形成し、反対面側枠部13上にアルミ電極とUBMとバンプ電極を形成することにより取り出すことができる。

【0117】 n型半導体基板5の裏面側には、入射面側凹部7から入射面側枠部9まで連続して裏面全体を覆うようにアキュムレーション層27が形成されている。アキュムレーション層27はn<sup>+</sup>型不純物拡散によって不純物濃度が高くなるようにされており、入射面側枠部9に対応する領域においてはn<sup>+</sup>型高不純物濃度層5bと連結されている。すなわち、入射面側枠部9には、不純物が高濃度に添加されたn<sup>+</sup>型高不純物濃度層5bが占める領域が成されていることとなる。

【0118】 アキュムレーション層27は高感度化、低暗電流化を図るため裏面側で発生する不要キャリアを再結合させる役割と、拡散電位による内蔵電界によってキャリアをpn接合方向に導く役割を果たす。アキュムレーション層27の不純物濃度は $1 \times 10^{15} \sim 10^{20}/\text{cm}^3$ 、アキュムレーション層27の厚さは0.1 $\mu\text{m}$ ～数 $\mu\text{m}$ である。また、アキュムレーション層27のさらに裏面側にはシリコン酸化膜29が設けられており、反射防止膜(ARコート)として機能する。

【0119】 上記のように本実施形態のフォトダイオードアレイ1では、pn接合3に対応する領域は、裏面側及び表面側の両方から薄化され基板の厚さが薄くなっている。一方、薄化された領域以外の領域は基板が元々の基板の厚さのまま残され、凹部を囲む厚板の枠部を形成している。入射面側枠部9には高不純物濃度の領域であるn<sup>+</sup>型高不純物濃度層5bが形成されている。n<sup>+</sup>型高不純物濃度層5bの不純物濃度は、 $1 \times 10^{15} \sim 10^{20}/\text{cm}^3$ である。

【0120】 続いて、本実施形態に係るフォトダイオードアレイ1の製造方法について、図3～図12に基づいて説明する。

【0121】 まず、厚さ150 $\mu\text{m}$ ～500 $\mu\text{m}$ 程度の結晶面(100)のn

型シリコンの基板 5 を準備する。n 型シリコンの基板 5 の裏面側に n<sup>+</sup>型高不純物濃度層 5 b を熱拡散により形成し、n 型半導体層 5 a、n<sup>+</sup>型高不純物濃度層 5 b の 2 層構造の基板を作製する (図 3 参照)。

5 【0122】 次に、基板の表面、裏面に熱酸化を施しシリコン熱酸化膜 4 1 を形成する (図 4 参照)。シリコン熱酸化膜 4 1 は後工程の高濃度 n 型不純物のドーピング用マスクとして利用される。

10 【0123】 次に、分離層 1 7 を形成する。フォトリソグラフィとエッチング液により、分離層 1 7 の予定位置のシリコン熱酸化膜 4 1 を開口させる。さらに、シリコン熱酸化膜 4 1 をマスクとしてリンを基板中にドーピングさせ分離層 1 7 を形成し、基板を熱酸化することによって上記開口を閉塞する (図 5 参照)。

15 【0124】 次に、分離層 1 7 間の領域のシリコン熱酸化膜をフォトリソグラフィとエッチング液により開口させる。さらに、この熱酸化膜をマスクとしてボロンを基板中にドーピングし p 型不純物拡散層 1 5 を形成し、熱酸化することによって当該開口を閉塞する。これにより、分離層 1 7 によって隔離された複数の p n 接合 3 がマトリックス状に形成され、この p n 接合 3 が光感応画素に対応する部分となる (図 6 参照)。なお、フォトダイオードを構成する p n 接合は、p 型不純物拡散層 1 5 と n 型半導体層 5 a との間に形成される。

【0125】 次に、基板の光感応領域を所望の厚さに調整するために裏面側を化学機械研磨 (CMP) する。

20 【0126】 基板の表面側及び裏面側にプラズマ CVD (化学的気相成長) 法あるいは LP-CVD (低圧気相成長法) よりシリコン窒化 (SiN) 膜 4 3 を形成し、反対面側凹部 1 1、入射面側凹部 7 に対応する部分のシリコン窒化膜 4 3 とシリコン熱酸化膜 4 1 をエッチングにより除去する。

25 【0127】 すなわち、まず、SiN 膜 4 3 を反対面上に形成し、フォトリソグラフィによってパターン化されたフォトレジストをマスクとして、p n 接合 3 上の領域をエッチングにより除去し、p 型不純物拡散層 1 5 の表面を露出させる

(図 7 参照)。

【0128】 そして、アルカリエッチング（水酸化カリウム溶液やTMAHなどを用いる）により、基板の反対面側に異方性エッチングを施す。これによって、光感応画素に対応する部分に反対面側凹部 11 が形成され、エッチングされなかつた部分が、それぞれの反対面側凹部 11 を囲む反対面側枠部 13 となる。このエッチングは少なくとも  $2\mu\text{m}$  以上の深さになるまで行い、p 型不純物を反対面側の露出表面から拡散又はイオン注入して、凹部内にも p 型不純物層 15 を形成し、次に、当該凹部内面を覆う熱酸化膜 21' を形成する。

【0129】 同様に、光入射側としての基板裏面側にも、反対面側凹部 11 に対向した位置で SiN 膜 43 とシリコン熱酸化膜 41 を開口し、これをマスクとして（図 8 参照）基板に異方性エッチングを施し、それぞれの反対面側凹部 11 に対応する位置に、入射面側凹部 7 及びそれぞれの入射面側凹部 7 を囲む入射面側枠部 9 を形成する。エッチングは少なくとも  $2\mu\text{m}$  以上の深さになるまで行い、少なくとも表面側の pn 接合 3 と、後に形成する裏面側のアキュムレーション層 27 が競合しない基板厚さが残るように行う。

【0130】 基板両面に位置するシリコン窒化膜 43 を除去した後、裏面側の凹部内に n 型イオン種（リンや砒素）をドーピングすることで、不純物濃度  $10^{15} \sim 10^{20}/\text{cm}^3$  のアキュムレーション層 27 を形成する。その後、熱酸化膜 45 を形成する。これによって n<sup>+</sup> 型高不純物濃度層 5b はアキュムレーション層 27 と一体化する。アキュムレーション層 27 の厚さは表面側の pn 接合 3 に達しない厚さに設定される。

【0131】 次に、所望の分光特性を得るための AR コート 29 を裏面側に形成する（図 9 参照）。前述の熱酸化膜 45 をそのまま AR コート 29 とするか、あるいはバッファ酸化膜を除去し再熱酸化又は追加熱酸化により膜厚調整することで AR コート 29 としてもよい。又は熱酸化膜と SiN、その他光学薄膜などとの複合膜や積層膜で AR コート 29 を形成してもよい。

【0132】 その後、表面にp型不純物拡散層15のコンタクトホールを熱酸化膜21'に形成し、少なくともコンタクトホール内に埋設されるようにアルミ電極19を形成する(図10参照)。このアルミ電極19上にバンプ電極を形成する部分を開口した状態でパッシベーション層21をパターニングする。なお、アルミ電極19は、p型不純物拡散層15とバンプ電極を電氣的に接続するように形成すればいい。

【0133】 また、図示しないが、基板電極も同様に分離層17を介してバンプ電極を設けることができる。

【0134】 パッシベーション層21にはプラズマCVDにより形成されたSiNやSiO<sub>2</sub>、PSG、PSAG、SiONあるいはポリイミド樹脂やアクリル樹脂、エポキシ樹脂、ウレタン樹脂やそれを含む複合素材を利用することができる。

【0135】 バンプ電極として半田を用いる場合、半田はアルミニウムに対する濡れ性が悪いため、アルミニウムと半田バンプ電極25とを仲介するためのUBM23を、パッシベーション膜21の開口内に形成し(図11参照)、さらに重ねてUBM23上に半田バンプ電極25を形成する(図12参照)。UBM23は無電解メッキでNi-Auを形成するが、リフトオフ法でTi-Pt-AuやCr-Auを形成することでも実現できる。

【0136】 半田バンプは半田ボール搭載法や印刷法で所定のUBM部分に半田を形成しリフローすることで得ることができる。また、バンプは半田に限られるものではなく、金バンプ、ニッケルバンプ、銅バンプ、導電性樹脂バンプなど金属を含む導電性バンプでもよい。

【0137】 上記フォトダイオードアレイ1では、半導体基板が両面側から薄化された領域にpn接合3が形成されているので、pn接合部3と光入射面との距離を小さくしつつpn接合3が形成された領域以外は元々の基板の厚さのまま枠部として残ることとなり、基板全体の機械的強度を維持することができる。ま

た、上記フォトダイオードアレイ 1 では、基板の両側から薄化されることにより凹部が形成されている。

【0138】 図 13A は基板片面側からのみ薄化されたフォトダイオードアレイの断面形状を、図 13B は基板の両面から薄化された本実施形態のフォトダイオードアレイの断面形状を模式的に表したものである。両者は基板厚さ ( $T1$ 、 $T2$ )、フォトダイオード領域の厚さ ( $t1$ 、 $t2$ )、枠部の幅 ( $u1$ 、 $u2$ ) が等しいが、凹部の底面の面積 ( $S1$ 、 $S2$ ) は本実施形態のフォトダイオードアレイの方が大きいことが解かる。よって、本実施形態のフォトダイオードアレイ 1 によれば、 $p-n$  接合部 3 と光入射面との距離が同じで枠部の幅が同じであっても、何れか片面側からのみ凹部が形成された場合よりも、両面でエッチングを行った方が、凹部の底面の面積が広くなるため、広い光検出部面積を確保することができ、開口率を向上することができる。

【0139】 上記フォトダイオードアレイ 1 では、反対面側凹部 11 形成の際に内側面と反対面側枠部 13 とのエッジ部がダメージやストレスを受けやすく、不要キャリアが発生しやすい。しかし、 $p$  型不純物拡散層 15 が反対面側枠部 13 から反対面側凹部 11 の内側面を介して該反対面側凹部 11 の底面まで連なって形成されているため、エッジ部は  $p$  型不純物拡散層 15 で構成されていることとなり、エッジ部で発生した不要キャリアの影響を抑制することができ、暗電流やクロストークの低減を図ることができる。

【0140】 上記フォトダイオードアレイ 1 では、入射面側凹部 7 の底面の面積が、反対面側凹部 11 の面積よりも大きくなっている。よって、入射面側枠部 9 に入射した検出光により発生したキャリアが凹部底面の  $p-n$  接合まで移動することを抑制することができ、暗電流やクロストークの低減を図ることができる。

【0141】 上記フォトダイオードアレイ 1 によれば、入射面側枠部 9 及び入射面側凹部 7 には  $n$  型不純物濃度が高い領域である  $n^+$  型高不純物濃度層 5b が存在するため、入射面側枠部 9 に光が入射することで発生したキャリアは、 $n^+$

型高不純物濃度層 5 b で再結合し消滅し、p 型不純物拡散層 1 5 にまで移動することは少なくなる。この n<sup>+</sup>型高不純物濃度層 5 b の厚みは、キャリアの拡散長よりも長く設定することができる。したがってフォトダイオードを流れる電流チャネル間に相当する入射面側柵部 9 に入射する光によって発生するフォトダイオード間のクロストークを低減することができる。

【0142】 また、柵部（凸部）9 を用いることにより、柵部 9 で発生した不要キャリア（キャリア出力用の電極までの走行距離が長いキャリア）は、n<sup>+</sup>型高不純物濃度層（不感領域）5 b でトラップされるため、光検出波形の裾引きがなくなり、応答速度が速くなるという効果もある。なお、このような柵部 9 に設けられる不感領域としては、絶縁層等を採用することもできる。

【0143】 上記フォトダイオードアレイ 1 によれば反対面側柵部 1 3 上にバンプ電極 2 5 が形成されているため、実装の際には反対面側柵部 1 3 において実装配線基板と当接させることができ、実装配線基板の配線が煩雑になることを避けることができる。

【0144】 上記フォトダイオードアレイ 1 によれば、反対面側凹部 1 1 の内側面にアルミ電極 1 9 が形成されているので、フォトダイオードを反対面側凹部 1 1 の底部にのみ形成する場合であってもアルミ電極 1 9 によって p 型不純物拡散層 1 5 と反対面側柵部 1 3 の接触を仲介することができ、バンプ電極 2 5 を反対面側柵部 1 3 上に形成することができる。

【0145】 なお、本実施形態のフォトダイオードアレイでは、n 型シリコンの基板 5 の裏面側に n<sup>+</sup>型高不純物濃度層 5 b を熱拡散により形成し、n 型半導体層 5 a、n<sup>+</sup>型高不純物濃度層 5 b を有する 2 層構造の半導体基板 5 を作製しているが、上記 2 層の間に絶縁膜又は上記 2 層との界面において結晶方位が交差する半導体層を設け、薄型部形成の際のエッチングストップ層として機能させることによって、エッチング工程の制御を容易にしてもよい。

【0146】 次に、本発明の放射線検出器の実施形態について説明する。

【0147】 図14は本実施形態に係る放射線検出器70の側断面図である。本放射線検出器70は、X線等の放射線h<sub>ν</sub>が入射した場合に蛍光を生じ、その光出射面から出射するシンチレータ71と、シンチレータ71から出射された光を入射し、電気信号に変換する上述のフォトダイオードアレイ1と、実装配線基板73とを備えている。

【0148】 シンチレータ71はフォトダイオードアレイ1の裏面側に設置され、入射面側枠部9においてフォトダイオードアレイ1と当接している。このためシンチレータ71と入射面側凹部7との間には隙間が存在することとなるが、この隙間にはシンチレータ71からの蛍光を透過させるのに十分な屈折率を有するカップリング樹脂75が充填され、シンチレータ71から出射された光が効率よくフォトダイオードアレイ1に入射できるようになっている。

【0149】 実装配線基板73上の配線73'は、フォトダイオードアレイ1の表面側に設置され、バンプ電極25を介してフォトダイオードアレイ1を構成する個々のフォトダイオードと電気的に接続されている。この実装形態はフリップチップ実装であり、バンプ電極25は半田バンプ、金バンプ、ニッケルバンプ、銅バンプ、導電性樹脂バンプなど金属を含む導電性バンプ等が用いられる。

【0150】 また、ボンディング方式としてはダイレクトボンディング方式又はこれにアンダーフィル樹脂を充填する方式、異方性導電性フィルム(ACF)、異方性導電性ペースト方式(ACP)、非導電性ペースト(NCP)方式などの形態を用いてもよい。

【0151】 実装配線基板73上にフォトダイオードアレイ1をボンディングする際には吸着コレットで入射面側枠部9を吸着することとなるが、その際に入射面側枠部9に機械的ダメージが加わり、その欠陥部分によって暗電流や雑音となるキャリアが発生することとなる。また、フォトダイオードアレイ1の裏面側にシンチレータ71を設置する際は入射面側枠部9にシンチレータ71を当接させることとなるが、その際にも入射面側枠部9に機械的ダメージが加わり、不要

キャリアが発生することとなる。

【0152】 ところが上記放射線検出器によれば、上記本発明に係るフォトダイオードアレイを用いており、入射面側枠部9が高不純物濃度の $n^+$ 型拡散層5bで構成されており、発生したキャリアを再結合させ、かかる暗電流や雑音を低減  
5 することができる。

【0153】 また、上記放射線検出器では、フォトダイオードアレイ1の光感応画素間に入射面側枠部9を配置しているので、入射する光を画素ごとに分離することができる。さらに、入射面側枠部9が高不純物濃度の $n^+$ 型拡散層5bで構成されているので、入射面側枠部9に入射した光により発生したキャリアが再結  
10 合する。このため、光感応画素と光感応画素との間、すなわち枠部9に入射した光は信号として取り出されることが抑制される。すなわち、上記放射線検出器は光感応画素間のクロストークを改善することが可能となる。

【0154】 放射線検出器において、裏面に凹凸のないフォトダイオードアレイを用いることとすれば、実装配線基板73上にフォトダイオードアレイをボン  
15 ディングする際に吸着コレットが直接光感応画素に触れることとなる。またシンチレータ装着の際にも同様にシンチレータが直接光感応画素に触れることとなるため、光感応画素を傷つけ、画素欠陥の原因となりやすい。ところが上記放射線検出器によれば、光感応画素部は反対面側凹部11に配置されているため、実装工程において直接光感応画素が接触を受けることもなくなるため機械的なダメージ  
20 を受けにくくなり、光感応画素欠陥を防止することができる。

【0155】 上述のように、本発明のフォトダイオードアレイ及び放射線検出器によれば、検出感度を向上し機械的強度を確保しつつ、開口率を向上することができる。

【0156】 次に、基板の片面に凹凸部が形成されたフォトダイオードアレイ  
25 について説明する。

【0157】 図17は第2実施形態に係るフォトダイオードアレイの平面図で



あり、図18はそのII-II断面図である。

【0158】 以下の説明において、基板のpn接合204が形成される面を表面とし、光の入射面（凹部側）を裏面とする。

【0159】 図17に示すように本実施形態のフォトダイオードアレイ201は複数のpn接合が縦横に規則正しく配列されており、pn接合の一つ一つがフォトダイオードアレイの1受光画素としての機能を有している。フォトダイオードアレイ201は50～600 $\mu$ mの厚さ、不純物濃度 $1 \times 10^{12} \sim 10^{15}/\text{cm}^3$ のn型シリコン基板203を有し、500 $\mu$ m $\times$ 500 $\mu$ mの大きさで、600 $\mu$ m程度のピッチで不純物濃度 $1 \times 10^{15} \sim 10^{20}/\text{cm}^3$ の複数のp型不純物拡散層205が配置されている。n型シリコン基板203と複数のp型不純物拡散層205との間で形成されるpn接合により、上記受光画素が構成されている。p型不純物拡散層205同士の間には、フォトダイオード間を分離するn<sup>+</sup>型不純物領域（分離層）207が配置されている。

【0160】 n型シリコン基板203の裏面側でp型不純物拡散領域205に対応していない領域には厚さ2 $\mu$ m～200 $\mu$ m程度で、不純物濃度 $1 \times 10^{15} \sim 10^{20}/\text{cm}^3$ 程度のn<sup>+</sup>型不純物拡散層209が配置されている。したがって本発明のフォトダイオードアレイではp型不純物層が形成された領域は、例えば50 $\mu$ m～300 $\mu$ m程度の厚さに薄板化されて凹部211が形成されており、それ以外の領域では150～500 $\mu$ m程度の肉厚部裏面側に凸部（枠部）213が形成されている。肉厚部はpn接合が形成されていない領域、すなわち各フォトダイオードの間に形成されており、2 $\mu$ m～200 $\mu$ mのn<sup>+</sup>型不純物拡散層209と、50 $\mu$ m～300 $\mu$ m程度のn型シリコン基板203とから構成される。pn接合（受光画素）1つに対しては1つの凹部211が設けられることとなる。

【0161】 薄板化されたn型基板（フォトダイオード対応領域）の裏面側には0.1～数 $\mu$ mの厚さでn<sup>+</sup>不純物拡散層215が全面に形成されている。n<sup>+</sup>不純物拡散層215は、この裏面側より光（特に短波長において）が入射するこ

とで、 $n$ 型シリコン基板表面付近で発生した信号キャリアを基板内部へと送りこむアキュムレーション機能を有している。また、基板の表面側には $\text{SiN}$ または $\text{SiO}_2$ あるいはポリイミドなどからなるパッシベーション膜223が形成されている。

5      【0162】 それぞれの $p$ 型不純物拡散層205の表面側には $p$ 型不純物拡散層205よりもやや大きいアルミ配線電極221が設置されており、 $p$ 型不純物拡散層205と電氣的にコンタクトしている。それぞれの凸部213に対応する位置の表面側にはアルミ配線電極221に接触する $\text{Ni-Au}$ などからなるアンダーバンプメタル(UBM)217を介して半田のバンプ電極219がパッシベーション層223を貫通して設置されており、フォトダイオードアレイ201の実装の際にはバンプ電極219、UBM217、アルミ配線電極221を介して表面側から $p$ 型不純物拡散層205への電氣的なコンタクトが取れるようになっている。

15      【0163】 次に、本実施形態に係るフォトダイオードアレイの製造方法について図19～図23に基づいて説明する。まず、厚さ $50\mu\text{m}\sim 600\mu\text{m}$ 程度の結晶面(100)の $n$ 型シリコン基板203の基板を準備する。基板の裏面側に深さ $150\sim 250\mu\text{m}$ の均一な $n^+$ 拡散層209を熱拡散により形成することにより $n$ 型層、 $n^+$ 型層の2層構造の基板を作製する。次に基板の表面、裏面に熱酸化を施し $\text{SiO}_2$ 熱酸化膜202を形成する(図19参照)。 $\text{SiO}_2$ 熱酸化膜202は後工程の $n^+$ 熱拡散のマスクとして利用される。

20      【0164】 次に隣接するフォトダイオード間の分離層を形成する予定位置に存在する $\text{SiO}_2$ 熱酸化膜202をフォトエッチングプロセスにより開口させ、リンをドーピングし、熱酸化することによって分離層207を形成する。

25      【0165】 次に $n$ 型シリコン基板203の表面側の所定の領域に $p$  $n$ 接合204を形成すべく $p$ 型不純物層205を拡散する。まず受光画素となる位置の $\text{SiO}_2$ 熱酸化膜をフォトエッチングプロセスにより開口させ、ボロンをドーピング

し、熱酸化する。これによりn型基板の他方の面に複数のpn接合204が形成され、このpn接合領域204が受光画素に対応する部分となる。即ちフォトダイオードからなるフォトダイオードアレイが形成される(図20参照)。

【0166】 必要に応じて基板厚さを調整するために裏面を研磨する。裏面に  
5 プラズマCVDあるいはLP-CVDによりシリコン窒化膜(SiN)を形成し、  
受光画素に対応した部分のSiNをエッチングにより除去する。そして、アルカリエッチング(水酸化カリウム溶液やTMAHなどを用いる)により裏面に異方性エッチングを施す(図21参照)。このとき各受光素子に対応した部分以外は薄板化されずn<sup>+</sup>拡散層209を残し、肉厚部を構成する。これによって、受光画素  
10 に対応する部分に凹部211が形成され、受光画素と隣接する受光画素との間に凸部213が形成される。エッチングは少なくとも2μm以上の深さまで行い、  
基板のn<sup>+</sup>層209とn層203との界面付近まで行う。即ち、エッチングはn<sup>+</sup>層209をわずかに残して行っても良いし、n層203が露出するように行っても良い。

【0167】 エッチングマスク(SiN)を除去した後、熱酸化(バッファ酸化)し、裏面にn型イオン種(例えばリンや砒素)をドーピングすることで不純物  
15 濃度 $10^{15} \sim 10^{20}/\text{cm}^3$ のアキュムレーション層215を形成する(図22参照)。  
その後、熱酸化を行う。アキュムレーション層215の厚さは基板の表面側のp<sup>+</sup>層205に達しないようにする。所望の分光特性を得るために裏面にARコート  
20 を施すが、前述の酸化膜を膜厚調整することでARコートとしてもよい。または熱酸化膜とSiNやその他光学薄膜との複合膜でARコートを形成してもよい。

【0168】 その後、表面にp<sup>+</sup>層、n<sup>+</sup>層のコンタクトホール222を形成しアルミ配線電極221を形成する(図22参照)。このアルミ配線電極221を覆  
うように全面にパッシベーション膜223を堆積する。アルミ配線電極221は  
25 p<sup>+</sup>層とn<sup>+</sup>領域の幅よりもわずかに幅を大きくすることが望ましい。これにより  
バイアス印加する際に耐圧特性が良くなるとともに、表面ダメージによる反転層

形成を阻止することができる。このアルミ配線電極上にバンプ電極を形成する部分を開口した状態でパッシベーション膜 2 2 3 をパターニングする(図 2 2 参照)。パッシベーション層 2 2 3 にはプラズマ CVD により形成された SiN や SiO<sub>2</sub>、BPSG、PSG、SiON、あるいはポリイミドやアクリル、エポキシ、ウレタンやそれを含む複合素材を利用することができる。

【0169】 バンプ電極として半田を用いる場合、半田はアルミニウムに対する濡れ性が悪いためアルミニウムと半田バンプ電極 2 1 9 とを仲介するための仲介金属層 2 1 7 (アンダーバンプメタル、UBM) を形成し、さらに重ねて半田バンプ電極 2 1 9 を形成する(図 2 3 参照)。UBMは無電解メッキでNi-Auを形成するが、リフトオフ法でTi-Pt-AuやCr-Auを形成することでも実現できる。半田バンプは半田ボール搭載法や印刷法で所定のUBM部分に半田を形成しリフロすることで得ることができる。また、バンプは半田に限られるものではなく、金バンプ、ニッケルバンプ、銅バンプ、導電性樹脂バンプなど金属を含む導電性バンプでもよい。

【0170】 ここで、フォトダイオード間の凸部 2 1 3 を構成するn<sup>+</sup>型拡散層 2 0 9 は、n型基板よりn型不純物濃度が高いため、凸部 2 1 3 のn<sup>+</sup>型拡散層 2 0 9 に光が入射することでキャリアが発生するが、上記フォトダイオードアレイによれば、発生するキャリアは、凸部 2 1 3 のn<sup>+</sup>型拡散層 2 0 9 で再結合し消滅するため、n型基板 2 0 3 には移動することがない。したがってフォトダイオードチャンネル間に入射する光によって発生するフォトダイオード間のクロストークを低減することができる。同時に受光画素間を肉厚とすることにより、基板全体の機械的強度を維持することができ、基板自体の反り・歪み等の発生を抑えることができる。フォトダイオードアレイの凸部 2 1 3 をコレットに吸着して実装基板にフリップチップボンディングする際や、シンチレータをフォトダイオードアレイの凸部 2 1 3 に実装する際の機械的なダメージにより生じる暗電流の増加を抑えることができる。

【0171】 また、基板の $n^+$ 層を形成する際に熱拡散を用いている。よって、 $n^+$ 層を他の方法（例えば基板の貼り合わせ等）によって形成した場合と異なり、基板の裏面側ほど不純物濃度が高く凸部213の不純物濃度が高い。このため、発生したキャリアを再結合・消滅させる効果が高くなり、暗電流、リーク電流、クロストークを低減させる効果も大きくなる。

（第3実施形態）

【0172】 次に、本発明の第3実施形態に係るフォトダイオードアレイについて説明する。

【0173】 図24は本実施形態に係るフォトダイオードアレイの側断面図である。第2実施形態のフォトダイオードアレイとの構成上の相違点を説明すると、第2実施形態のフォトダイオードアレイでは $n^+$ 型アキュムレーション層215が $n$ 型基板203内に形成されているが、本実施形態のフォトダイオードアレイでは $n^+$ 型不純物拡散層209を数 $\mu\text{m}$ 残してアキュムレーション層として機能させている（図24参照）。アキュムレーション層の機能としては、第2実施形態において説明した機能と違いはない。

【0174】 上記相違点はフォトダイオードアレイの製造方法の相違点に由来するものである。受光画素に対応する部分に凹部を形成するエッチングの際に、第1実施形態ではエッチングを $n$ 層203に達するまで行っているのに対して、本実施形態ではエッチングを $n^+$ 層と $n$ 層との界面に達する前0.1～数 $\mu\text{m}$ 程度でストップさせる。

【0175】 上記フォトダイオードアレイによれば、エッチングされずに残った厚さ数 $\mu\text{m}$ の $n^+$ 型不純物拡散層がそのままアキュムレーション層としても働くので、第1実施形態のように改めてイオン注入によるアキュムレーション層を形成する必要がなく、工程を省略することができる。なお、上記以外の構成及び製造方法については第1実施形態に係るフォトダイオードアレイとまったく同様である。

【0176】 上述した第2実施形態及び第3実施形態に係るフォトダイオードではn型シリコン基板203の裏面側にn<sup>+</sup>拡散層209を熱拡散により形成することによりn-n<sup>+</sup>基板を形成しているが、n-n<sup>+</sup>基板を準備する工程として以下のような変形が考えられる。

- 5      【0177】 n<sup>+</sup>型基板を準備し、その表面側に結晶面(100)又は(110)でn層をエピタキシャル成長させることによりn-n<sup>+</sup>基板を形成することもできる。また、逆にn型基板を準備し、その表面側に結晶面(100)又は(110)でn<sup>+</sup>層をエピタキシャル成長させることによりn-n<sup>+</sup>基板を形成することもできる。こうすることにより、不純物濃度プロファイルが階段状になり、凹部  
10      形成のエッチングの際、平坦なエッチングが可能となる長所がある。

【0178】 また、不純物が高濃度に添加されているn<sup>+</sup>基板またはn<sup>+</sup>エピタキシャル成長層は深さ方向で濃度が均一にできるため、凸部に入射した短波長から長波長の光により発生するキャリアを再結合させることが可能となり、クロストークを低減できるという利点もある。

- 15      【0179】 また、第1導電型の不純物をp型とし、その不純物濃度を $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下の半導体層を結晶成長によって形成した場合、前記半導体界面が露出するまでアルカリエッチングを行い、その後、フッ酸、硝酸及び酢酸を用いた混合溶液でエッチングを行うことにより界面でエッチングがストップし、平坦な凹部を形成することができる。

- 20      【0180】 また、結晶面(100)又は(110)のn型基板を準備し、その裏面側に該n型基板と結晶面をあわせてn<sup>+</sup>型基板を貼り合わせることによりn-n<sup>+</sup>基板を形成することもできる。こうすることにより、n層、n<sup>+</sup>層中の不純物濃度プロファイルが階段状になり、凹部形成のエッチングの際、平坦なエッチングが可能となる長所がある。

- 25      【0181】 また、不純物が高濃度に添加されているn<sup>+</sup>基板は深さ方向で濃度が均一にできるため、凸部に入射した短波長から長波長の光により発生するキャ

リアを再結合させることが可能となり、クロストークを低減できるという利点もある。

【0182】 また、第1導電型の不純物をp型とし、その不純物濃度を $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下の半導体基板を貼り合わせることによって形成した場合、前記半導体界面が露出するまでアルカリエッチングを行い、その後、フッ酸、硝酸及び酢酸を用いた混合溶液でエッチングを行うことにより界面でエッチングがストップし、平坦な凹部を形成することができる。

【0183】 また、結晶面(111)のn型基板を準備し、その裏面側に結晶面(100)又は(110)のn<sup>+</sup>型基板を貼り合わせるによりn-n<sup>+</sup>基板を形成することもできる。こうすることにより、n<sup>+</sup>層側からアルカリエッチングする際に(111)面は(100)面や(110)面に比べてエッチング速度が非常に遅いため、ほとんどn層に達した時点でエッチングストップすることができ、エッチングの制御が容易となるという長所がある。

(第4実施形態)

【0184】 次に、本発明の第4実施形態に係るフォトダイオードアレイについて説明する。

【0185】 図25は本実施形態に係るフォトダイオードアレイの断面図である。第3実施形態のフォトダイオードアレイとの構成上の相違点を説明すると、第3実施形態のフォトダイオードアレイではn<sup>+</sup>層とn層が直接接していたが本実施形態ではn<sup>+</sup>層とn層との間に厚さ0.1~3 $\mu\text{m}$ のSiO<sub>2</sub>層225を挟んでいる。

【0186】 上記相違点はフォトダイオードアレイの製造方法の相違点に由来するものである。第3実施形態ではn型シリコン基板の基板を準備し、基板の裏面側にn<sup>+</sup>拡散層を熱拡散により形成することによってn-n<sup>+</sup>拡散基板を作成し基板として用いたが、本実施形態ではSOI (Silicon On Insulator) 基板を基板として用いている。すなわち、まずn型シリコン基板を準備し、裏面側を熱

酸化させ $\text{SiO}_2$ 酸化膜を形成する。次に結晶面(100)または(110)の $n^+$ 層を裏面側に貼り合わせることによって図27のような三層構造のSOI基板を形成し、基板として用いている。

【0187】 上記フォトダイオードアレイによれば、アルカリエッチング工程の際に $\text{SiO}_2$ 層225でエッチングがストップすることとなるため、エッチングの制御が容易になる。また、 $N^+$ 層でキャリアが発生したとしても $\text{SiO}_2$ 層225は絶縁層であるためキャリアを通さない。このため発生したキャリアは各受光画素まで到達することはない、クロストークをさらに低減することができる。なお、上記以外の構成及び製造方法については第3実施形態に係るフォトダイオードアレイとまったく同様である。

(第5実施形態)

【0188】 次に、本発明の第5実施形態に係るフォトダイオードアレイについて説明する。

【0189】 図26は本実施形態に係るフォトダイオードアレイの断面図である。第4実施形態のフォトダイオードアレイとの構成上の相違点を説明すると、第4実施形態のフォトダイオードアレイではフォトダイオードに対応する部分の凹部211が裏面側に行くほど広く、表面側に行くほど狭くなるように、凹部側面が基板の厚さ方向に対して傾いているのに対し、本実施形態のフォトダイオードアレイの凹部側面は基板の厚さ方向と略平行となっている。

【0190】 上記相違点はフォトダイオードアレイの製造方法の相違点に由来するものである。第4実施形態では、凹部211を形成する際に第4実施形態ではアルカリエッチングを用いたが、本実施形態では例えば高密度プラズマを用いたディープドライエッチングを用いている。

【0191】 上記フォトダイオードアレイによれば、凹部を形成する方法としてディープドライエッチングを用いるため、準備するSOI基板の $n^+$ 層は結晶面を(100)または(110)に限る必要がなくなる。また、 $\text{SiO}_2$ 層22



5でエッチングがストップすることとなるため、エッチングの制御が容易になる。なお、上記以外の構成及び製造方法については第4実施形態に係るフォトダイオードアレイとまったく同様である。

【0192】 次に、本発明の放射線検出器の実施形態について説明する。

5     【0193】 図28は本実施形態に係る放射線検出器の側断面図である。本放射線検出器230は、放射線を入射して、その放射線によって生じた光を光出射面から出射するシンチレータパネル231と、シンチレータパネル231から出射された光を光入射面から入射し、電気信号に変換するフォトダイオードアレイ201と、実装配線基板233とを備えている。

10     【0194】 上記放射線検出器は本発明に係るフォトダイオードアレイを備えることを特徴としており、本実施形態では上述した本発明の第2実施形態に係るフォトダイオードアレイを備えている。よってシンチレータパネル231はフォトダイオードアレイ201の裏面側に設置され、凸部213においてフォトダイオードアレイ201と当接している。このためシンチレータパネル231と凹部  
15     211との間には隙間が存在することとなるが、この隙間にはシンチレータパネル231からの蛍光を透過させるに十分な屈折率を有するカップリング樹脂235が充填され、シンチレータパネル231から出射された光が効率よくフォトダイオードアレイ201に入射できるようになっている。

20     【0195】 実装配線基板233はフォトダイオードアレイ201の表面側に設置され、バンプ電極219を介してフォトダイオードアレイ201と電氣的に接続されている。実装形態はフリップチップ実装であり、バンプ電極219は半田バンプ、金バンプ、ニッケルバンプ、銅バンプ、導電性樹脂バンプなど金属を含む導電性バンプ等が用いられる。また、ボンディング方式としてはダイレクトボンディング方式またはこれにアンダーフィル樹脂を充填する方式、異方性導電性フィルム(ACF)、異方性導電性ペースト方式(ACP)、非導電性ペースト  
25     (NCP)方式などの形態を用いてもよい。

【0196】 次に上記放射線検出器の作用について説明する。実装配線基板233上にフォトダイオードアレイ201をボンディングする際には吸着コレットで凸部213を吸着することとなるが、その際に凸部に機械的ダメージが加わり、その欠陥部分によって暗電流や雑音となるキャリアが発生することとなる。また、  
5 フォトダイオードアレイ201の裏面側にシンチレータパネル231を設置する際は凸部213にシンチレータパネル231を当接させることとなるが、その際にも凸部213に機械的ダメージが加わり、キャリアが発生することとなる。ところが上記放射線検出器によれば、上記本発明に係るフォトダイオードアレイを用いており、凸部213が高不純物濃度の $n^+$ 型拡散層で構成されているので発生  
10 したキャリアを再結合させ、かかる暗電流や雑音を低減することができる。

【0197】 また、上記放射線検出器では、フォトダイオードアレイ201の受光画素間に凸部213を配置しているので、入射する光を画素ごとに分離することができる。さらに、凸部213が高不純物濃度の $n^+$ 型拡散層で構成されているので凸部213に入射した光により発生したキャリアは再結合する。このため  
15 受光画素と受光画素との間に入射した光は信号として取り出されることがない。すなわち、上記放射線検出器は受光画素間のクロストークを改善することが可能となる。

【0198】 放射線検出器において、裏面に凹凸のないフォトダイオードアレイを用いることとすれば、実装配線基板233上にフォトダイオードアレイをボンディングする際に吸着コレットが直接受光画素に触れることとなる。またシンチレータパネル装着の際にも同様にシンチレータパネルが直接受光画素に触れることとなるため、受光画素を傷つけ、画素欠陥の原因となりやすい。ところが上記放射線検出器によれば、受光画素部は凹部211に配置されているため、実装  
20 工程において直接受光画素が接触を受けることもなくなるため機械的なダメージを受けにくくなり、受光画素欠陥を防止することができる。

【0199】 なお、本発明は上記した本実施形態に限定されることなく種々の

変形が可能である。

【0200】 図29Aは受光画素部とバンプ電極の位置関係を表す上面図、図29Bは図29Aに示したフォトダイオードアレイのXIV-XIV断面図である。図30Aは受光画素部とバンプ電極の位置関係を表す上面図、図30Bは図30Aに示したフォトダイオードアレイのXV-XV断面図である。図31Aは受光画素部とバンプ電極の位置関係を表す上面図、図31Bは図31Aに示したフォトダイオードアレイのXVI-XVI断面図である。

【0201】 例えば、上記したフォトダイオードアレイの各実施形態では図29A、図29Bのようにバンプ電極219を肉厚部すなわち凸部213に相当する部分に設置し実装時の機械的強度を確保することとしているが、機械的強度を十分確保できる場合であれば図30A、図30Bに示すように受光画素に相当する位置にバンプ電極219を設置しても良い。

【0202】 また、凸部213に相当する部分にバンプ電極219を設置する場合において、図31A、図31Bに示すようにバンプ電極219の裏面側に相当する部分のみ分離層207が途切れるように構成することもできる。こうすることによりフリップチップ実装を行う際に機械的ダメージが加わったとしてもアノードとカソードがショートしないようにすることができる。また、この場合は途切れた分離層同士をアルミ電極配線により接続し、分離層207が全域的に接続されるようにしてもよい。

【0203】 また、フォトダイオードアレイ上に格子状に受光素子を配置する場合にはフォトダイオードアレイチップ端のぎりぎりまで受光画素エリアであることが望ましい。このため図17に示すようにチップ端の肉厚部領域213zにバンプ電極を設置することはなるべく避けるほうがよい。そこで肉厚部にバンプ電極219を設置する場合には図32Aに示すようにチップ端の肉厚部領域213z以外の凸部にすべてのバンプ電極219を配置するような構成とすることもできる。図32Bはフォトダイオードアレイチップ端における受光画素部とバン

プ電極の位置関係を表す上面図である。例えば、図 3 2 Aにおいては左上の受光画素 2 0 4 a はその右側のバンプ電極 2 1 9 a から、左上の受光画素 2 0 4 b はその下側のバンプ電極 2 1 9 b から、右下の受光画素 2 0 4 c はその左側のバンプ電極 2 1 9 c からコンタクトを取るように配置されている。このようにバンプ電極 2 1 9 の位置をチップ端の肉厚部領域 2 1 3 z に配置しないように設計することによってフォトダイオードアレイチップ端のぎりぎりまで受光画素エリアとすることができる。

【0 2 0 4】 以上詳述したように本発明によれば、フォトダイオードアレイの機械的強度を維持し、素子間クロストークを低減することができるフォトダイオードアレイを提供することが可能となる。

#### 産業上の利用可能性

【0 2 0 5】 本発明はフォトダイオードアレイ、その製造方法、及び放射線検出器に利用することができる。

## 請求の範囲

1. 光入射面側に複数の入射面側凹部を有すると共に前記光入射面とは逆側に前記入射面側凹部のそれぞれに対応して複数の反対面側凹部を有する半導体基板を備え、前記半導体基板の前記反対面側凹部の底部に p n 接合を備えたことを特徴とするフォトダイオードアレイ。  
5
2. 前記 p n 接合は、前記反対面側凹部の底部から当該反対面側凹部を囲む反対面側枠部にまで延びていることを特徴とする請求の範囲第 1 項に記載のフォトダイオードアレイ。
3. 前記入射面側凹部の底面の面積は、前記反対面側凹部の底面の面積よりも大きいことを特徴とする請求の範囲第 1 項に記載のフォトダイオードアレイ。  
10
4. 前記入射面側凹部を囲む入射面側枠部には高不純物濃度領域が形成されていることを特徴とする請求の範囲第 1 項に記載のフォトダイオードアレイ。
5. 前記入射面側凹部を囲む入射面側枠部の形状は、被検出光の入射方向から見て格子状であることを特徴とする請求の範囲第 1 項に記載のフォトダイオードアレイ。  
15
6. 前記反対面側凹部を囲む反対面側枠部上に前記 p n 接合からなるフォトダイオードの出力を取り出す電極パッドを備えたことを特徴とする請求の範囲第 1 項に記載のフォトダイオードアレイ。
7. 当該反対面側凹部の側面部を通り前記フォトダイオードと前記電極パッドとを電氣的に接続する配線電極を備えたことを特徴とする請求の範囲第 6 項に記載のフォトダイオードアレイ。  
20
8. 請求の範囲第 1 ～ 7 項の何れか 1 項に記載のフォトダイオードアレイと、前記フォトダイオードアレイへの被検出光の入射面前方に配設されたシンチレータとを備えることを特徴とする放射線検出器。  
25
9. 被検出光の入射面と反対面側に、p n 接合型の複数のフォトダイオ

ードがアレイ状に形成された半導体基板を備え、

前記半導体基板は、前記複数のフォトダイオードの形成された領域が前記被検出光の入射面側から薄化されることにより、当該複数のフォトダイオードの形成された領域に挟まれた領域が前記被検出光の入射面側に向かって断面凸形状の凸部とされ、

前記凸部には、前記フォトダイオードの前記被検出光の入射面側と同一導電型の高濃度不純物領域が形成されていることを特徴とするフォトダイオードアレイ。

10. 10. 少なくとも被検出光の入射面と反対面側が第1導電型にされた半導体基板と、

この半導体基板の前記反対面側の第1導電型領域内部にアレイ状に配列して形成された第2導電型の複数の光検出層と、  
を備え、

15 前記半導体基板の前記被検出光の入射面側には、前記光検出層に対応する領域が当該入射面側より薄化されることによりアレイ状に配列された複数の凹部が形成され、

前記複数の凹部を仕切る凸部には、第1導電型の不純物が高濃度に添加されていることを特徴とするフォトダイオードアレイ。

20 11. 第1導電型の不純物が高濃度に添加されている半導体基板と、  
この半導体基板の被検出光の入射面と反対面側に接して設けられた第1導電型の半導体層と、

この第1導電型の半導体層の内部にアレイ状に配列して形成された第2導電型の複数の光検出層と、

25 を備え、

前記半導体基板は、前記光検出層に対応する領域が除去されることにより格子

状に成形されていることを特徴とするフォトダイオードアレイ。

1 2. 前記半導体基板と前記半導体層との間には、エッチングストップ層が介在されていることを特徴とする請求の範囲第1 1項に記載のフォトダイオードアレイ。

5 1 3. 前記半導体基板と前記半導体層との間には、絶縁層が介在されていることを特徴とする請求の範囲第1 1項に記載のフォトダイオードアレイ。

1 4. 前記半導体基板と前記半導体層は、互いに接する界面において結晶方位が交差することを特徴とする請求の範囲第1 1項に記載のフォトダイオードアレイ。

10 1 5. 少なくとも被検出光の入射面側とその反対面側が第1導電型の半導体で形成され、前記入射面側には第1導電型の不純物が高濃度に添加されている基板を準備する第1工程と、

前記基板の前記反対面側の第1導電型領域の内部に第2導電型の複数の光検出層をアレイ状に配列させて形成する第2工程と、

15 前記基板の前記光検出層に対応する領域を前記入射面側よりエッチングして薄化することにより、アレイ状に配列された複数の凹部と、これらを仕切る格子状の第1導電型の不純物が高濃度に添加された凸部を形成する第3工程とを備えることを特徴とするフォトダイオードアレイの製造方法。

1 6. 前記第1工程は、

20 第1導電型の半導体基板を準備する工程と、

前記半導体基板の前記被検出光の入射面側に第1導電型の不純物を高濃度に添加させる工程と、

を有することを特徴とする請求の範囲第1 5項に記載のフォトダイオードアレイの製造方法。

25 1 7. 前記第1工程は、

第1導電型の不純物が高濃度に添加されている半導体基板を準備する工程と、

前記半導体基板の前記被検出光の入射面と反対面側に第1導電型の半導体層を結晶成長させる工程と、  
を有することを特徴とする請求の範囲第15項に記載のフォトダイオードアレイの製造方法。

5           18. 前記第1工程は、

第1導電型の不純物が高濃度に添加されている半導体基板を準備する工程と、  
前記半導体基板の前記被検出光の入射面と反対面側に第1導電型の半導体薄板を貼り合わせる工程と、  
を有し、

10          前記半導体基板と前記半導体薄板は、貼り合せ界面において結晶方位が交差するようにしたことを特徴とする請求の範囲第15項に記載のフォトダイオードアレイの製造方法。

          19. 前記第1工程は、

第1導電型の不純物が高濃度に添加されている半導体基板を準備する工程と、  
15          前記半導体基板の前記被検出光の入射面と反対面側に、エッチングストップ層を介在させて第1導電型の半導体薄板を貼り合わせる工程と、  
を有することを特徴とする請求の範囲第15項に記載のフォトダイオードアレイの製造方法。

          20. 前記第1工程は、

20          第1導電型の不純物が高濃度に添加されている半導体基板を準備する工程と、  
前記半導体基板の前記被検出光の入射面と反対面側に、絶縁層を介在させて第1導電型の半導体薄板を貼り合わせる工程と、  
を有することを特徴とする請求の範囲第15項に記載のフォトダイオードアレイの製造方法。

25          21. 請求の範囲第9～14項のいずれか1項に記載のフォトダイオードアレイと、



このフォトダイオードアレイの前記被検出光の入射面側に取り付けられ、放射線の入射により発光するシンチレータパネルと、

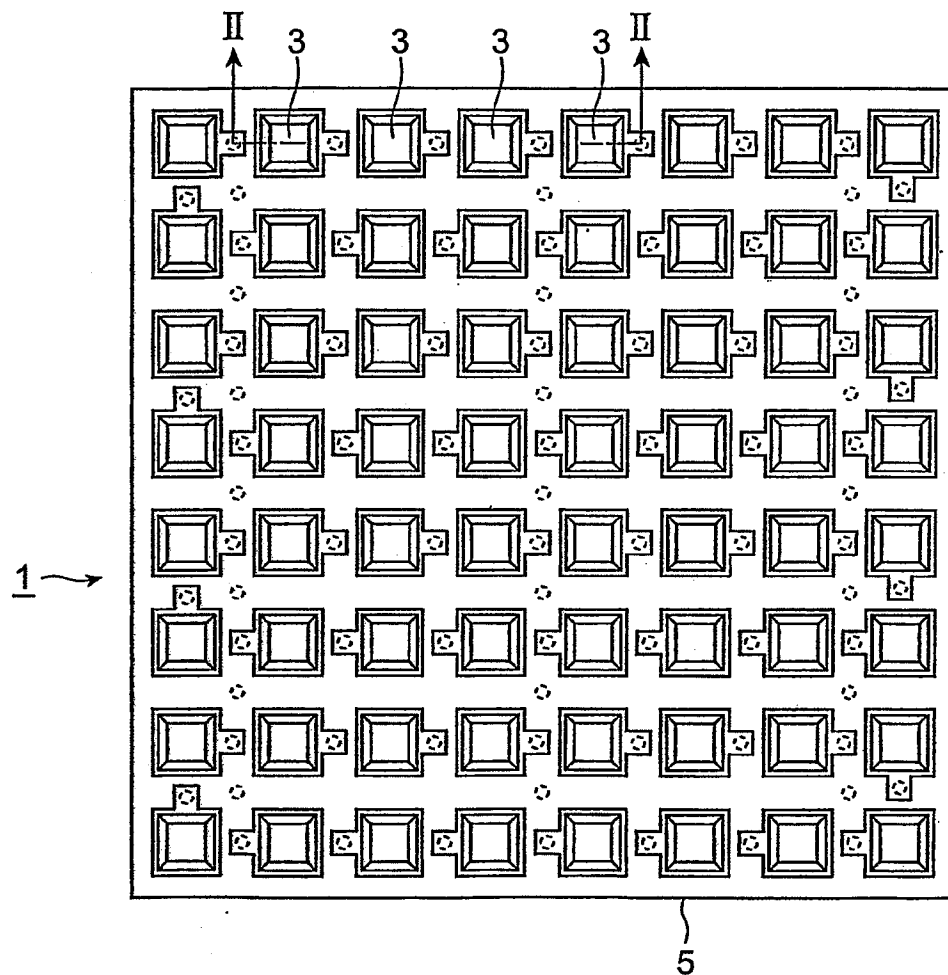
を備えることを特徴とする放射線検出器。

22. 請求の範囲第15～20項のいずれか1項に記載の製造方法で製造されたフォトダイオードアレイと、
- 5

このフォトダイオードアレイの前記被検出光の入射面側に取り付けられ、放射線の入射により発光するシンチレータパネルと、

を備えることを特徴とする放射線検出器。

図1



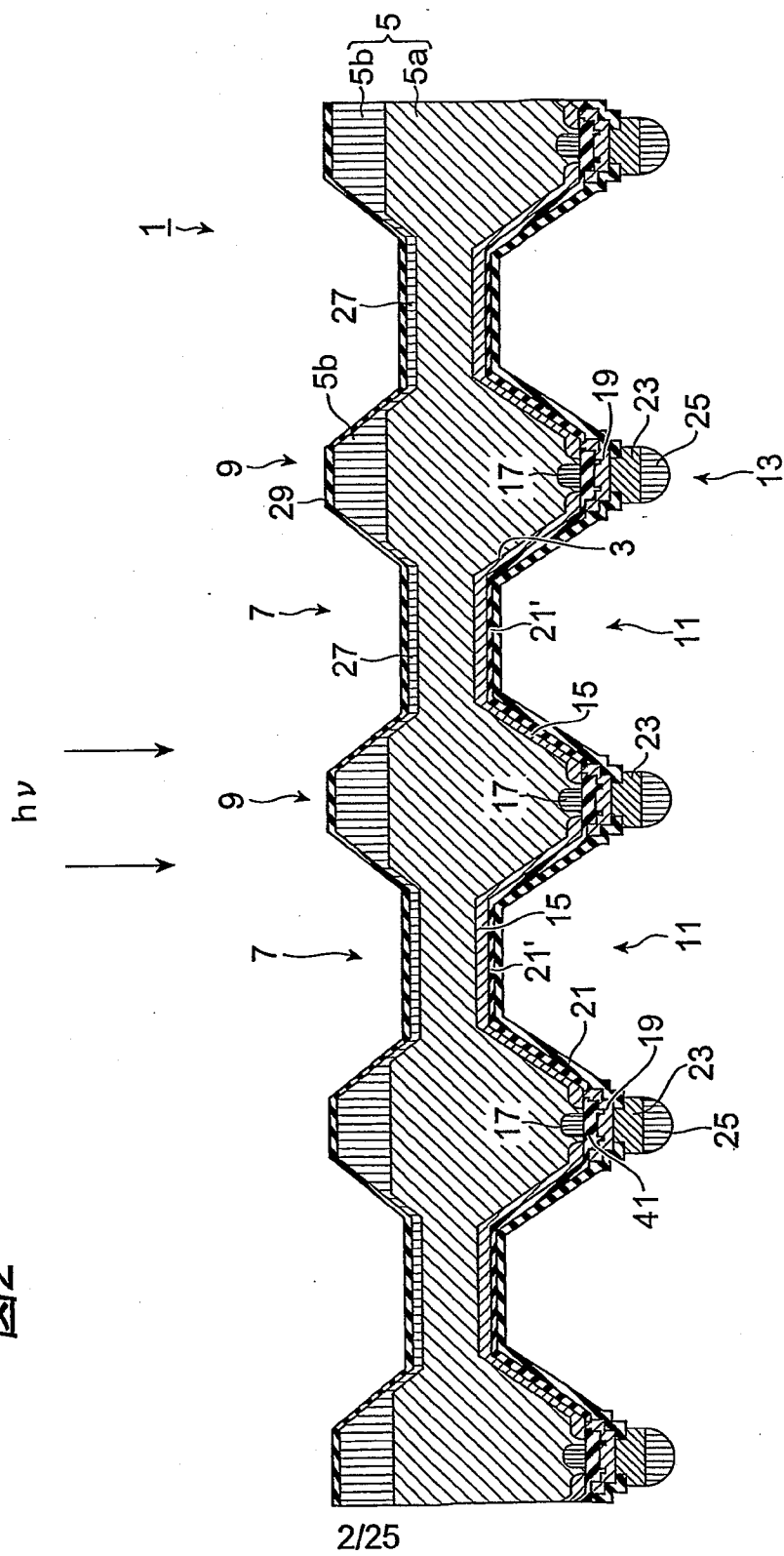


図3

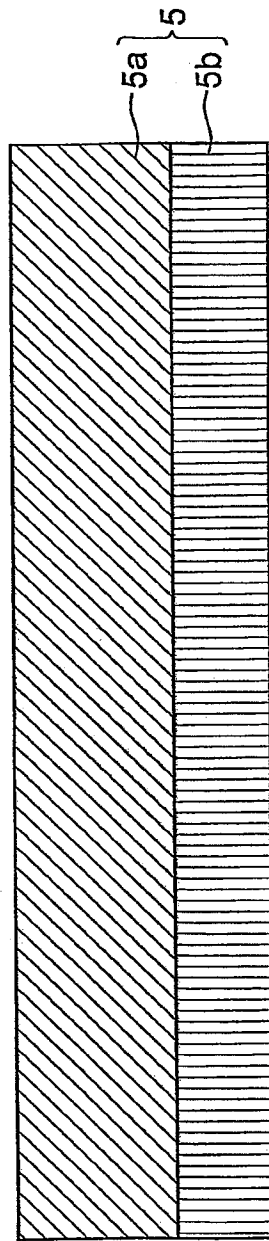
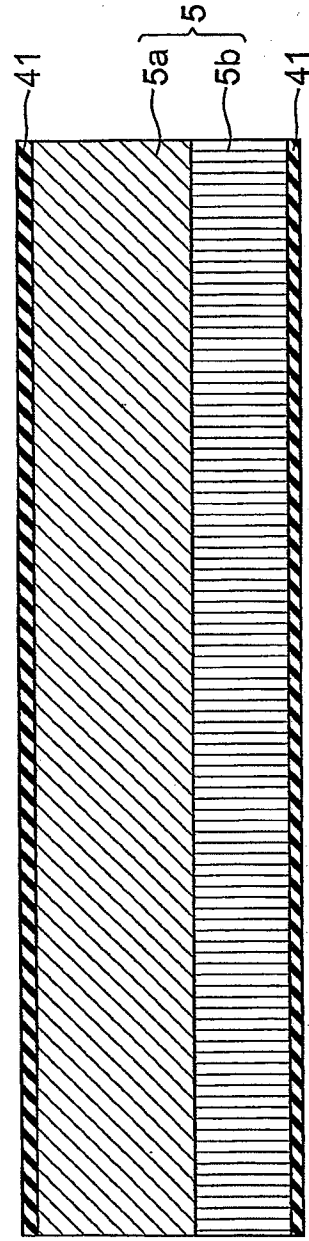


図4



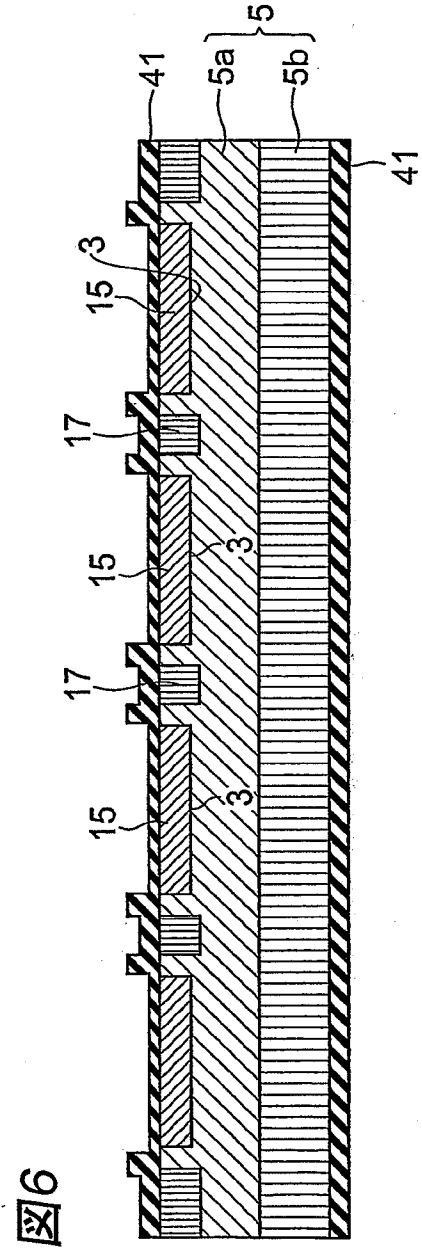
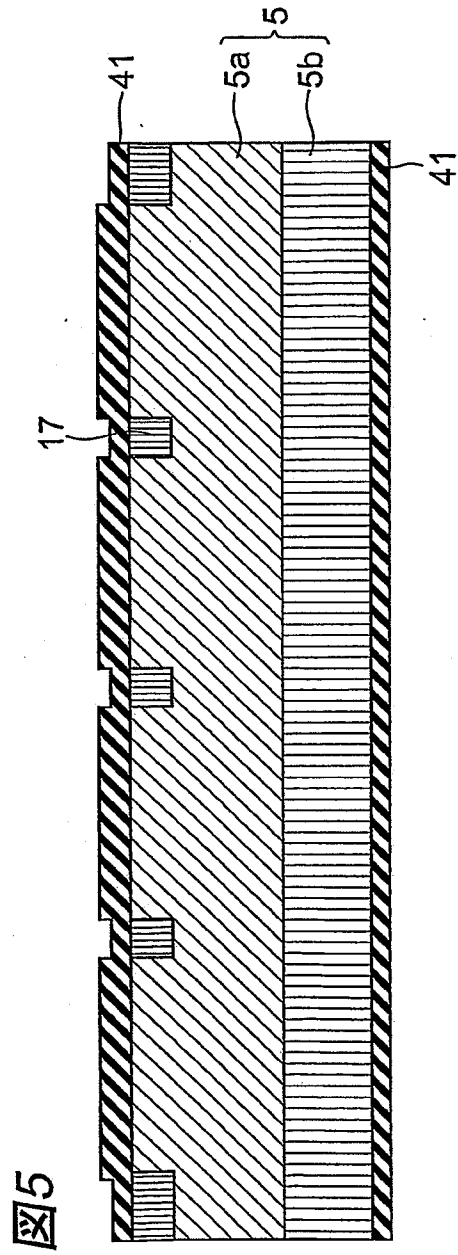


図7

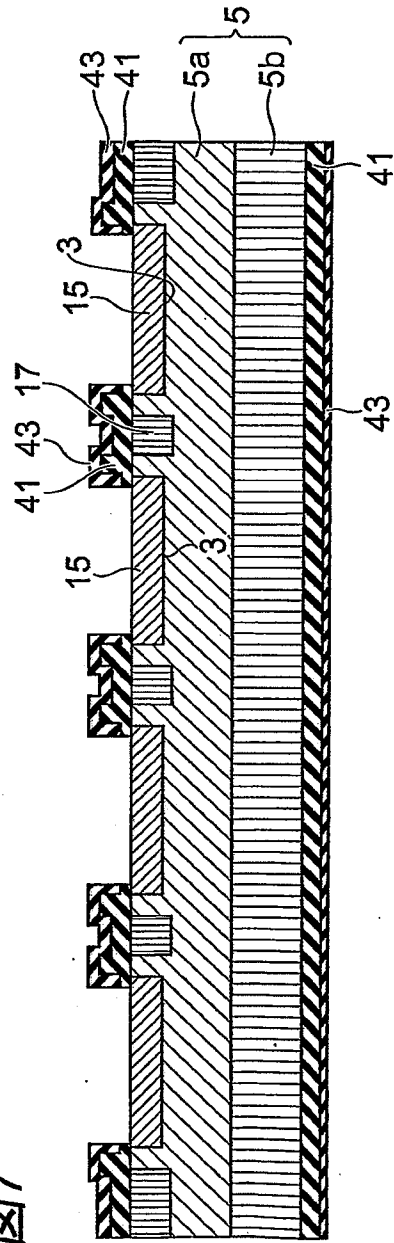
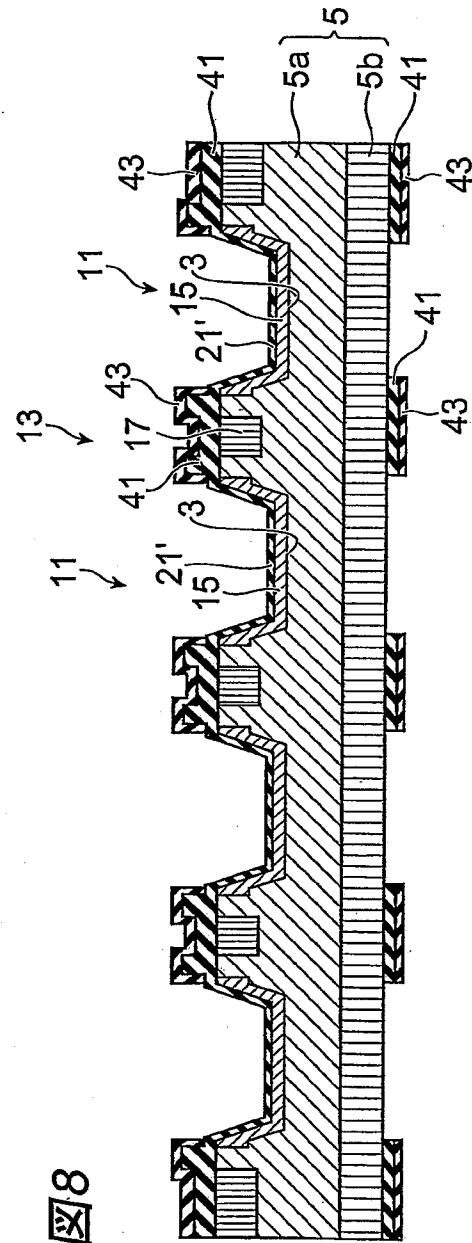
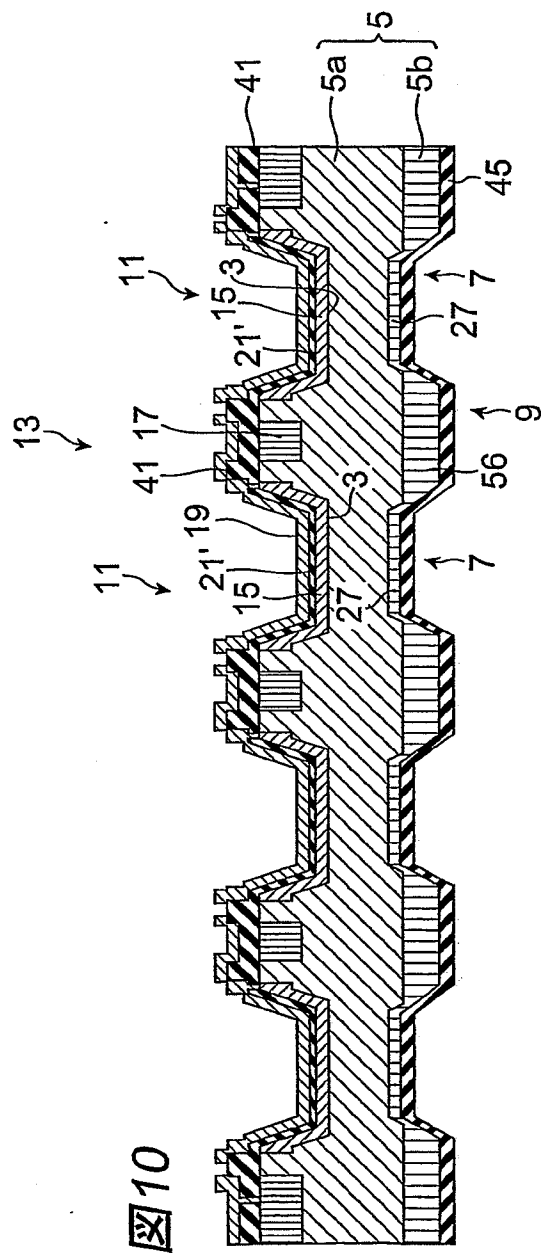
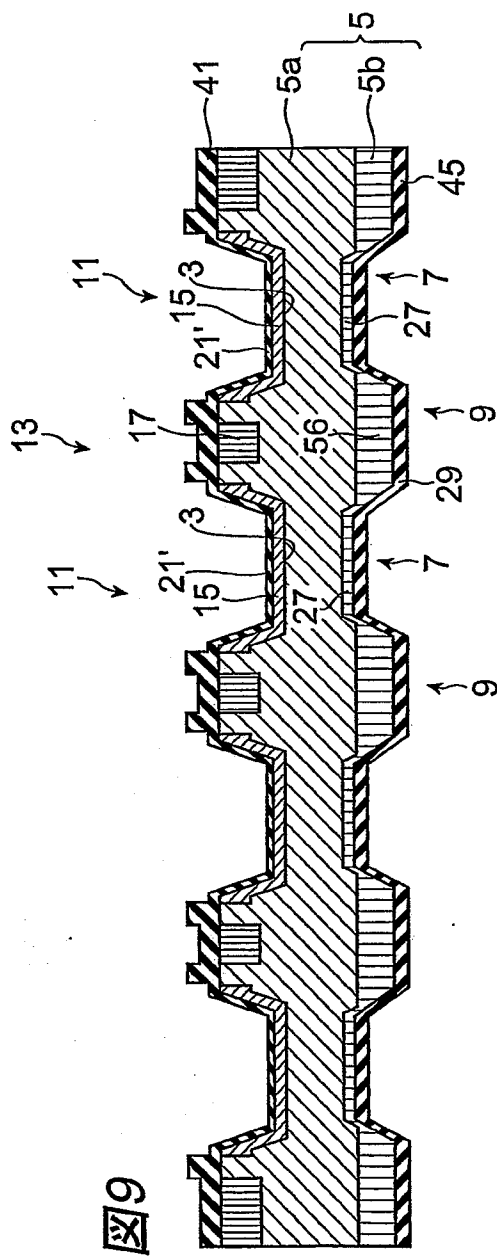


図8





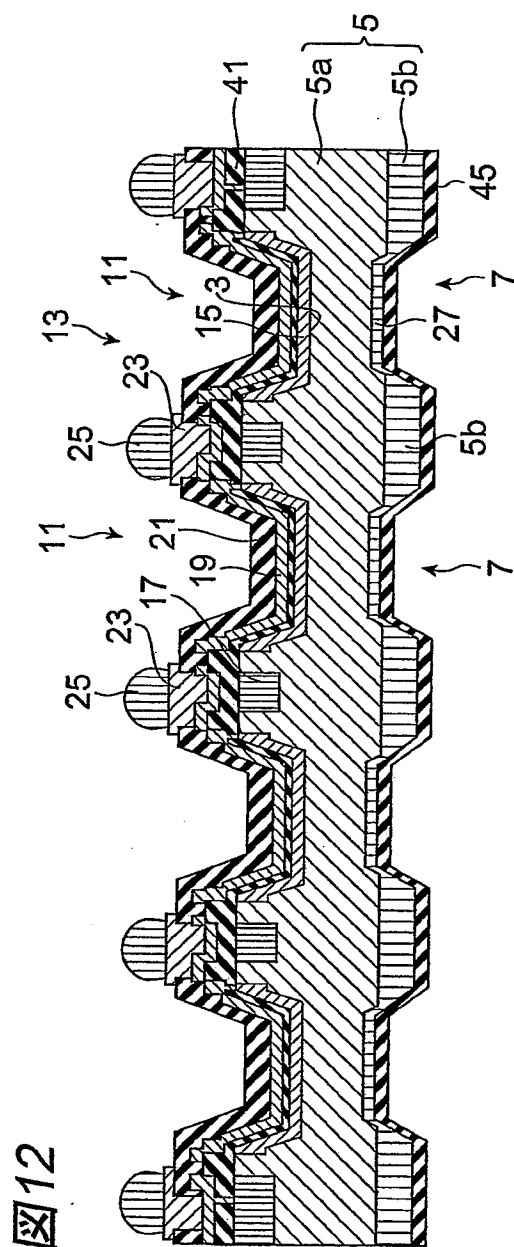
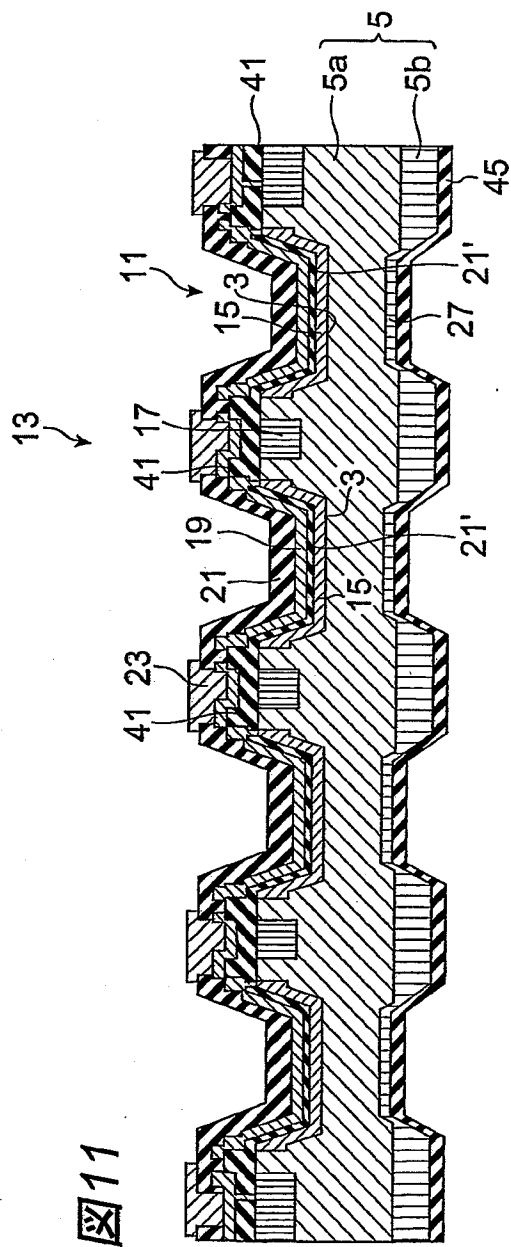




図13A

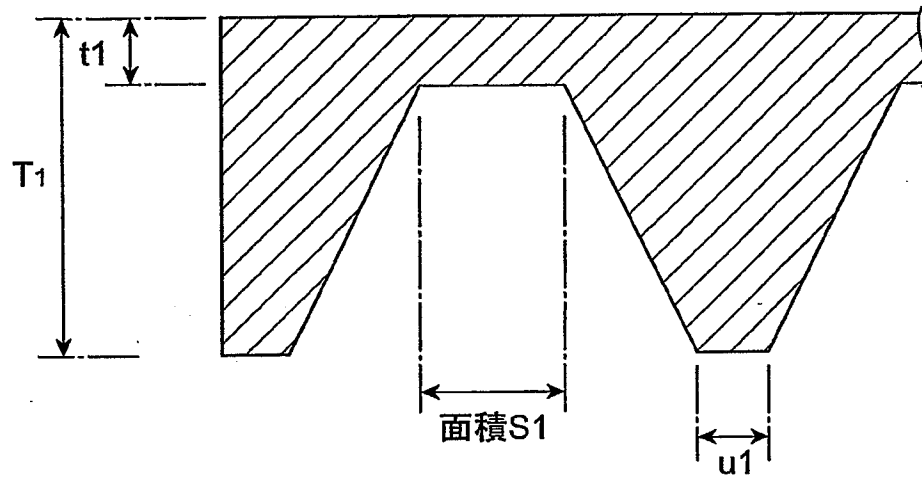
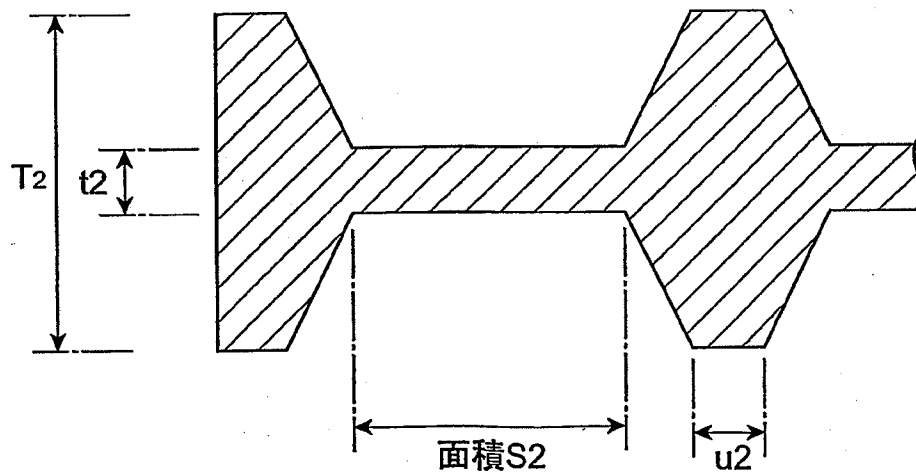


図13B



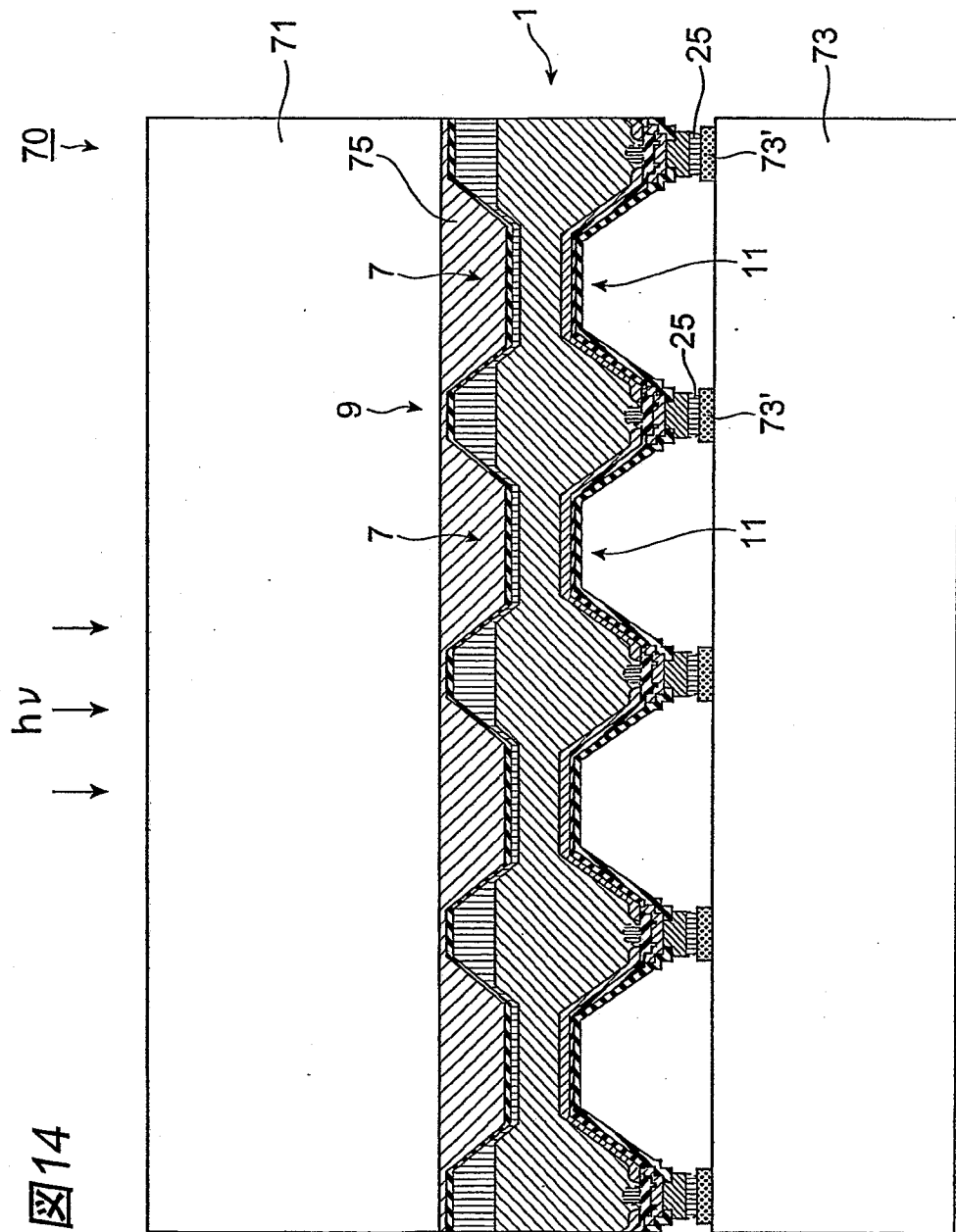


図15

X線  
↓

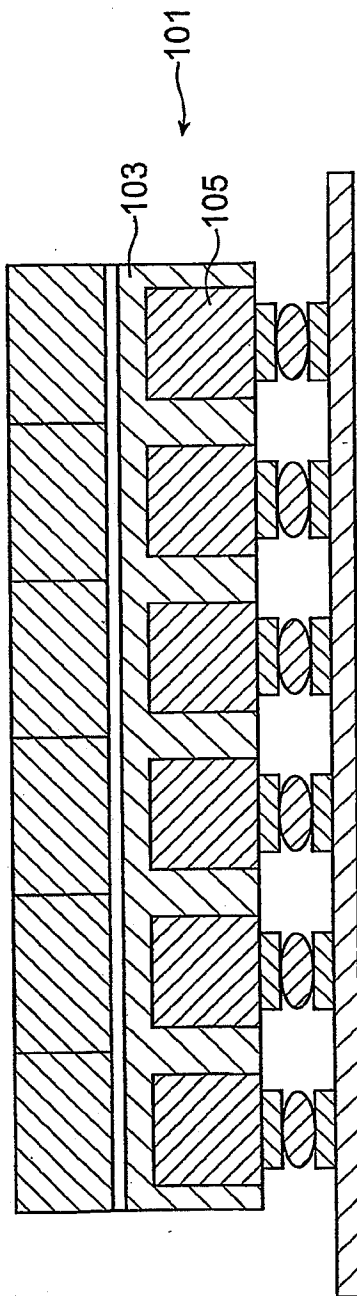


図 16

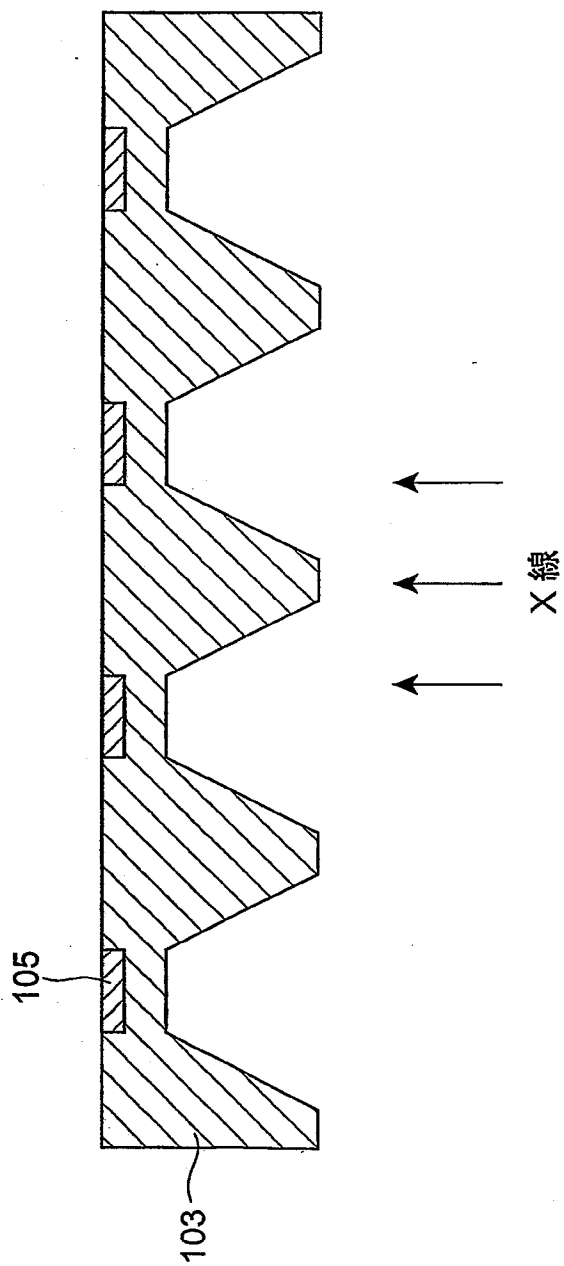


図17

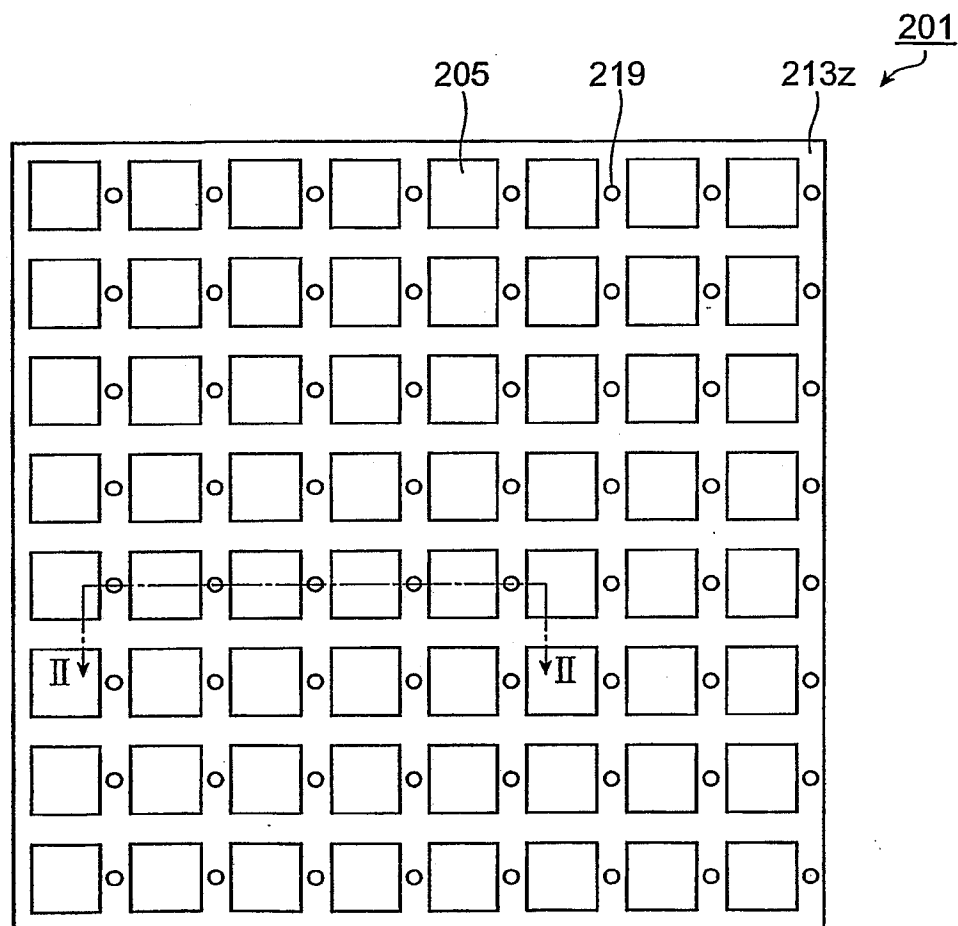


図18

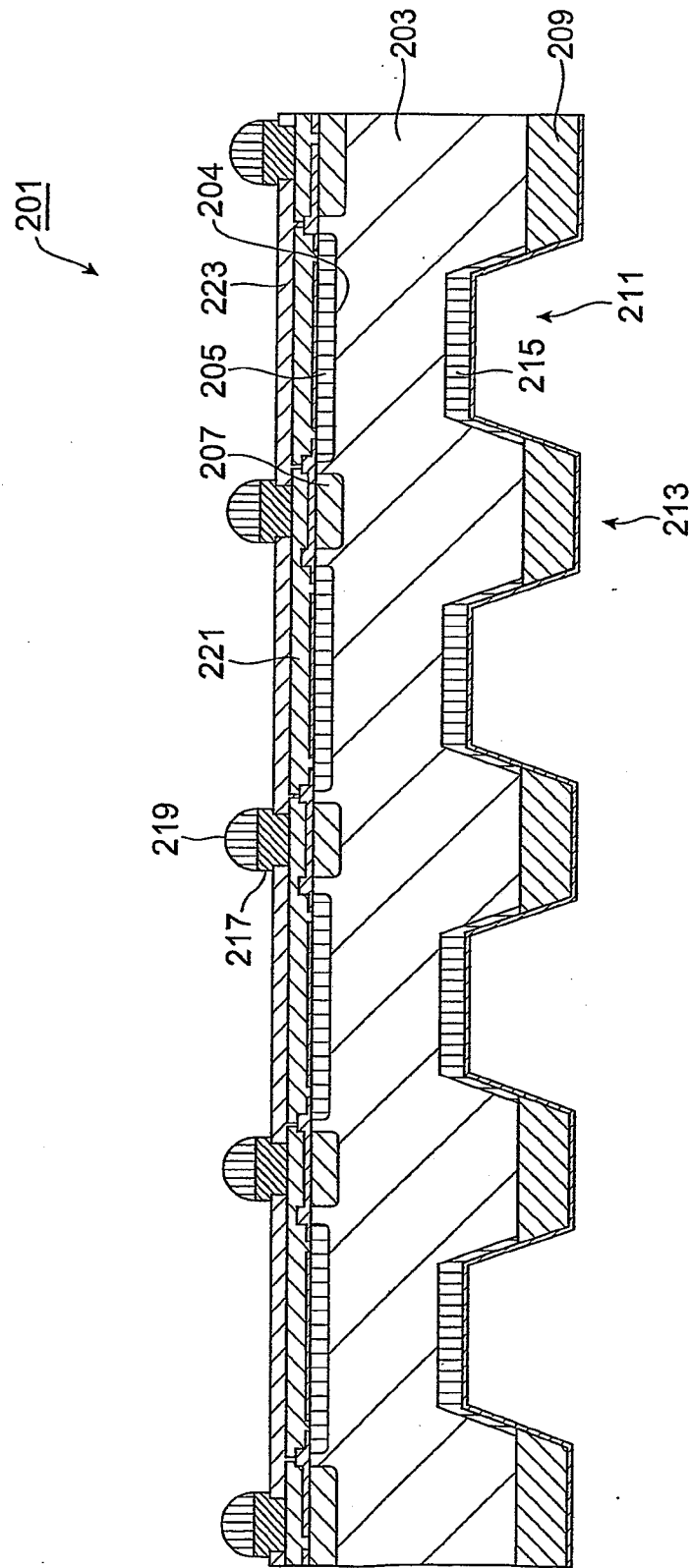


図19

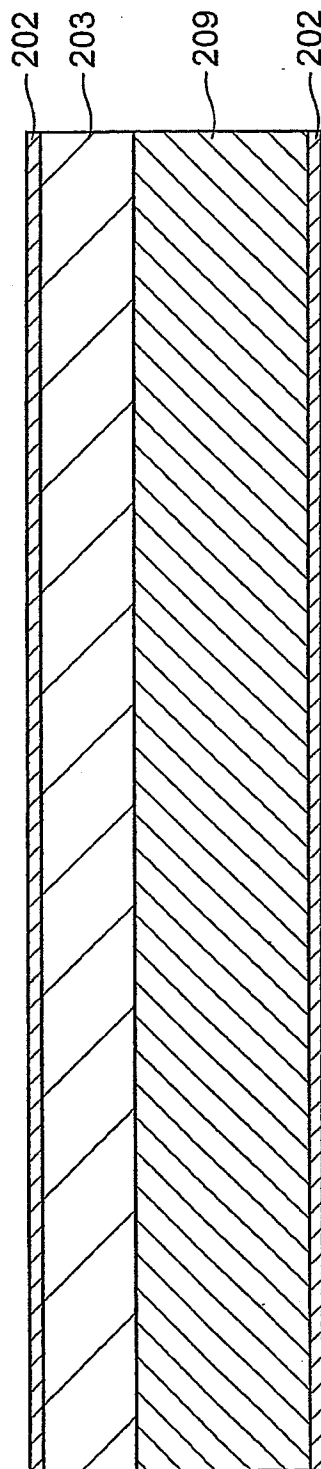


図20

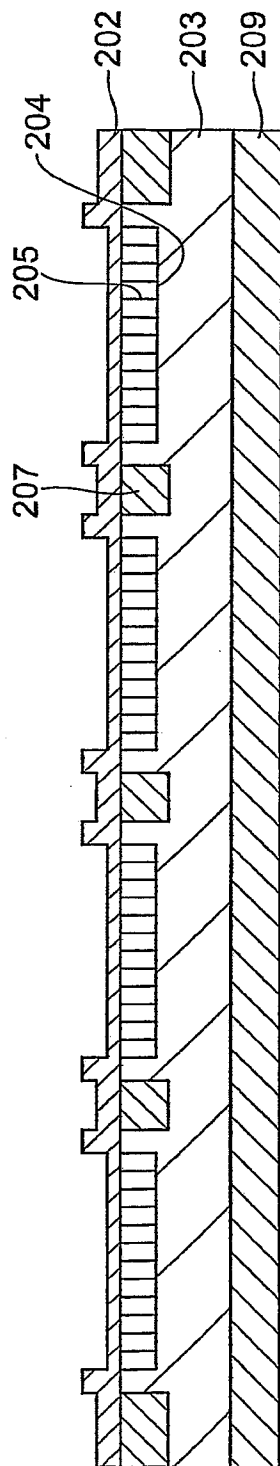
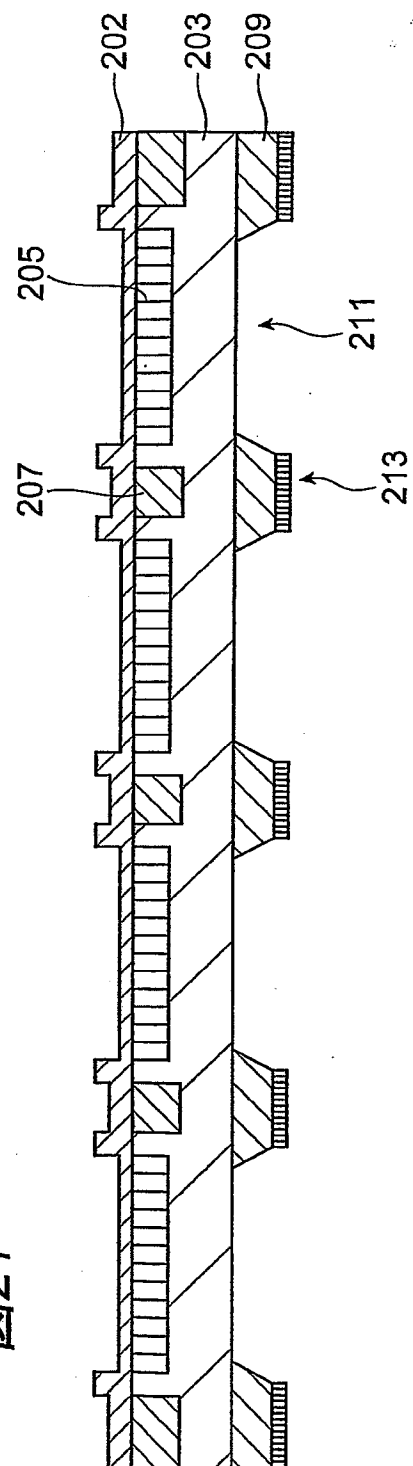


図21





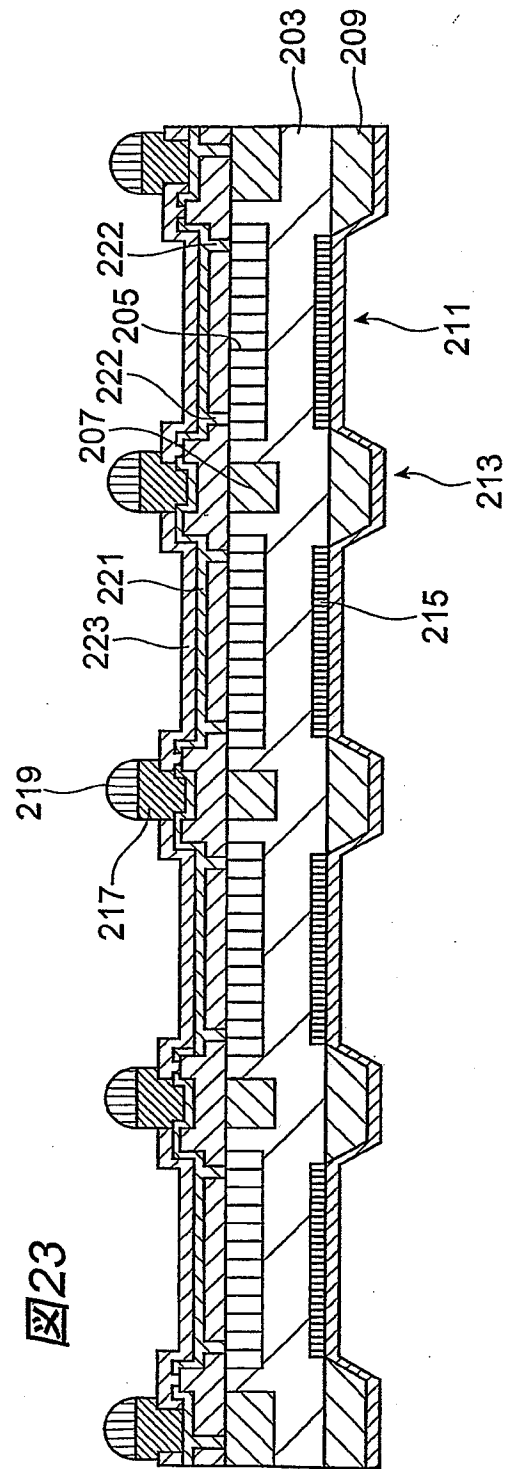
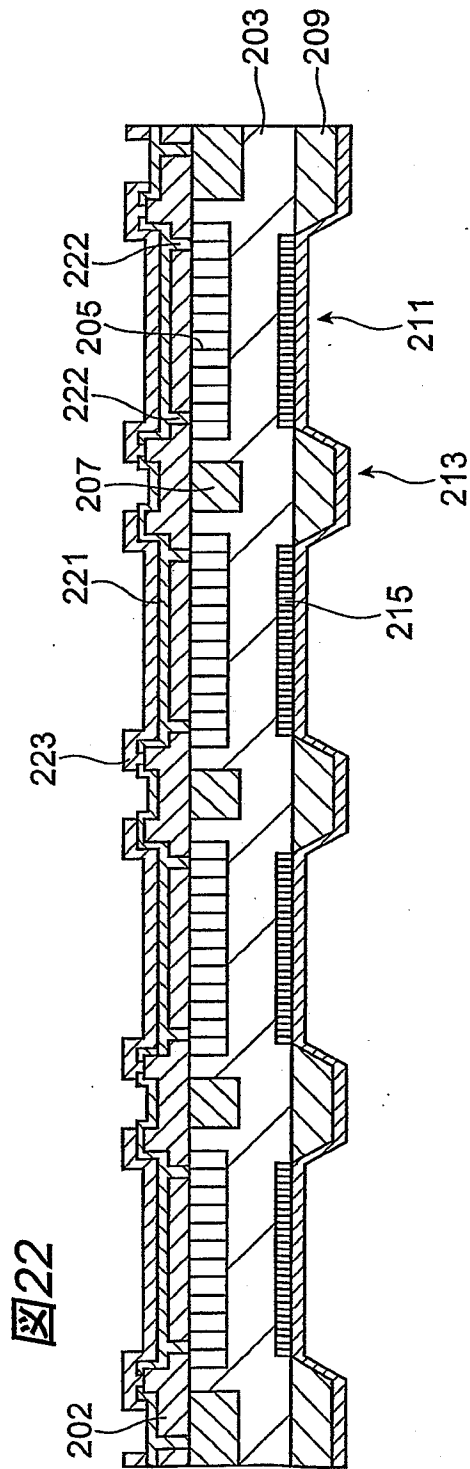


図24

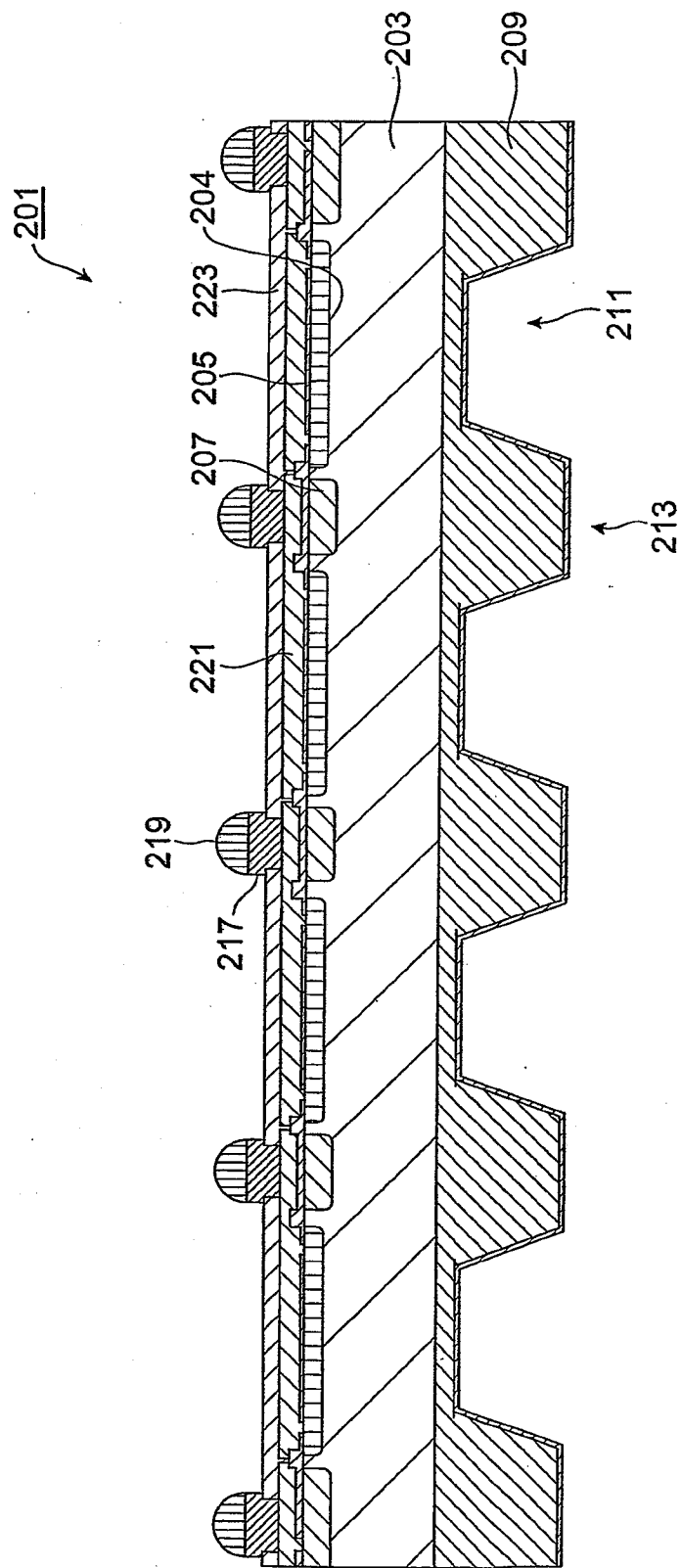


図25

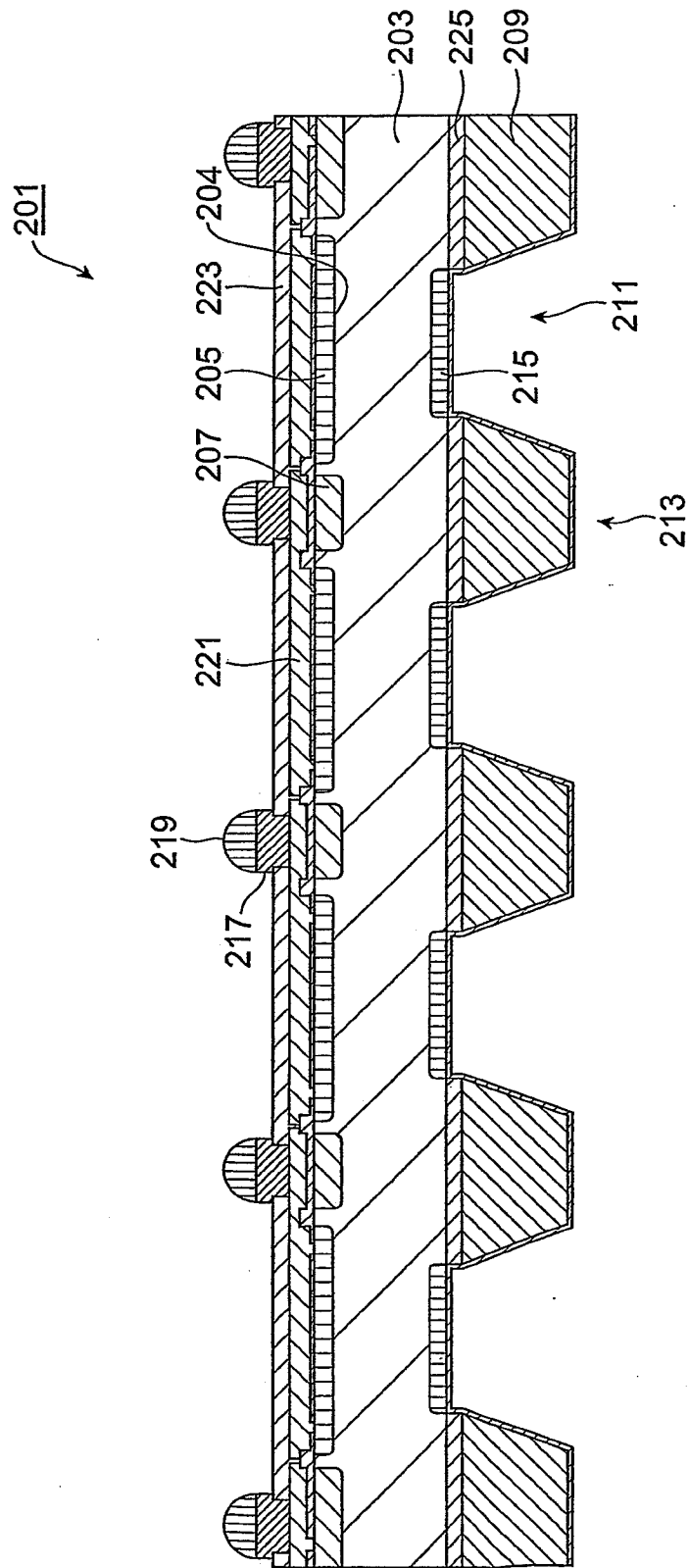


図26

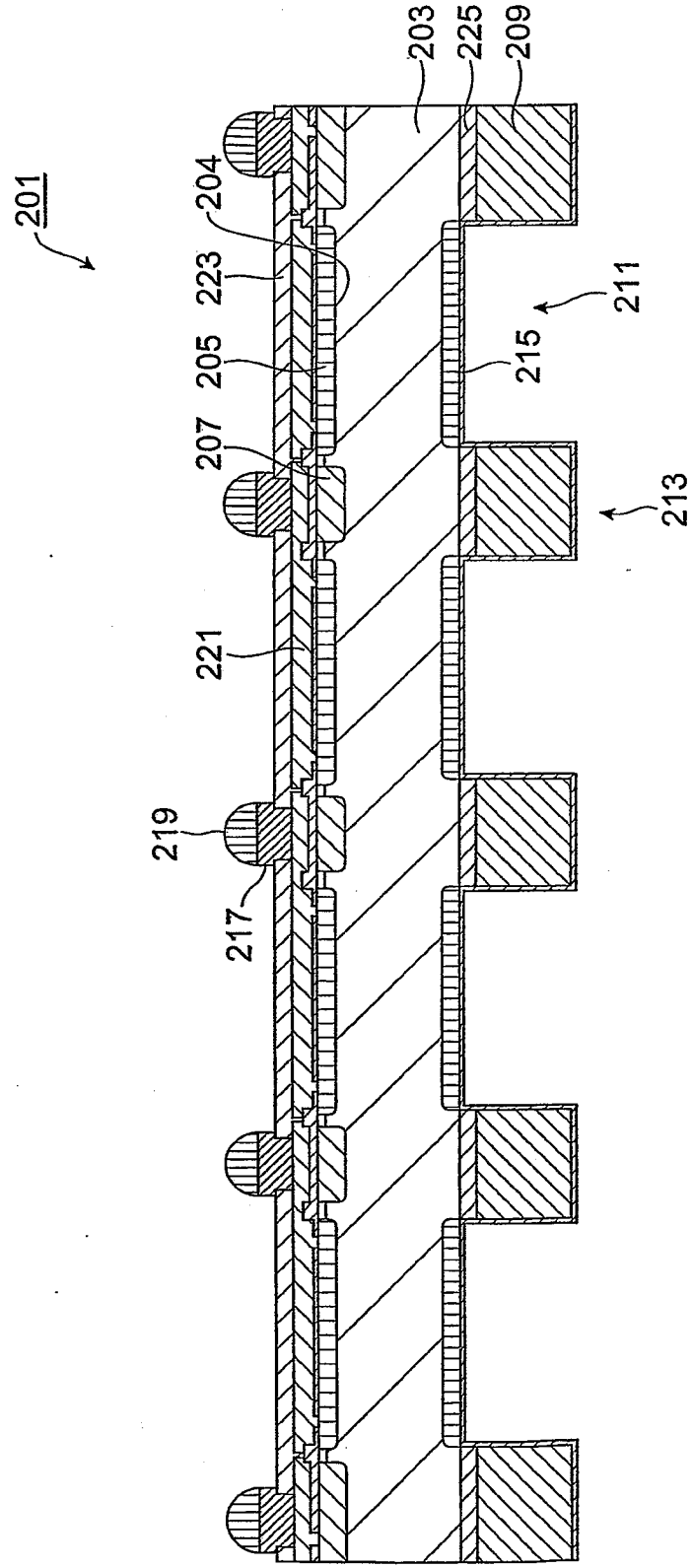
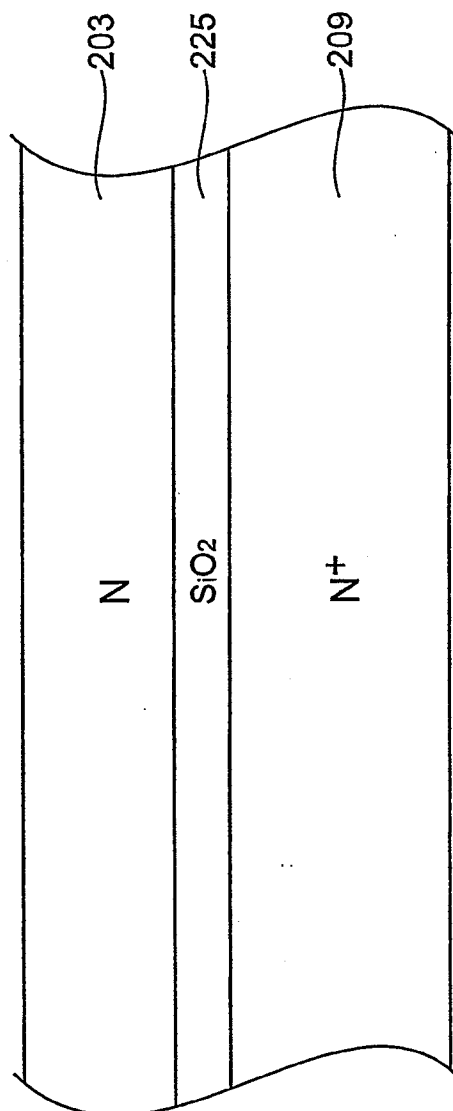
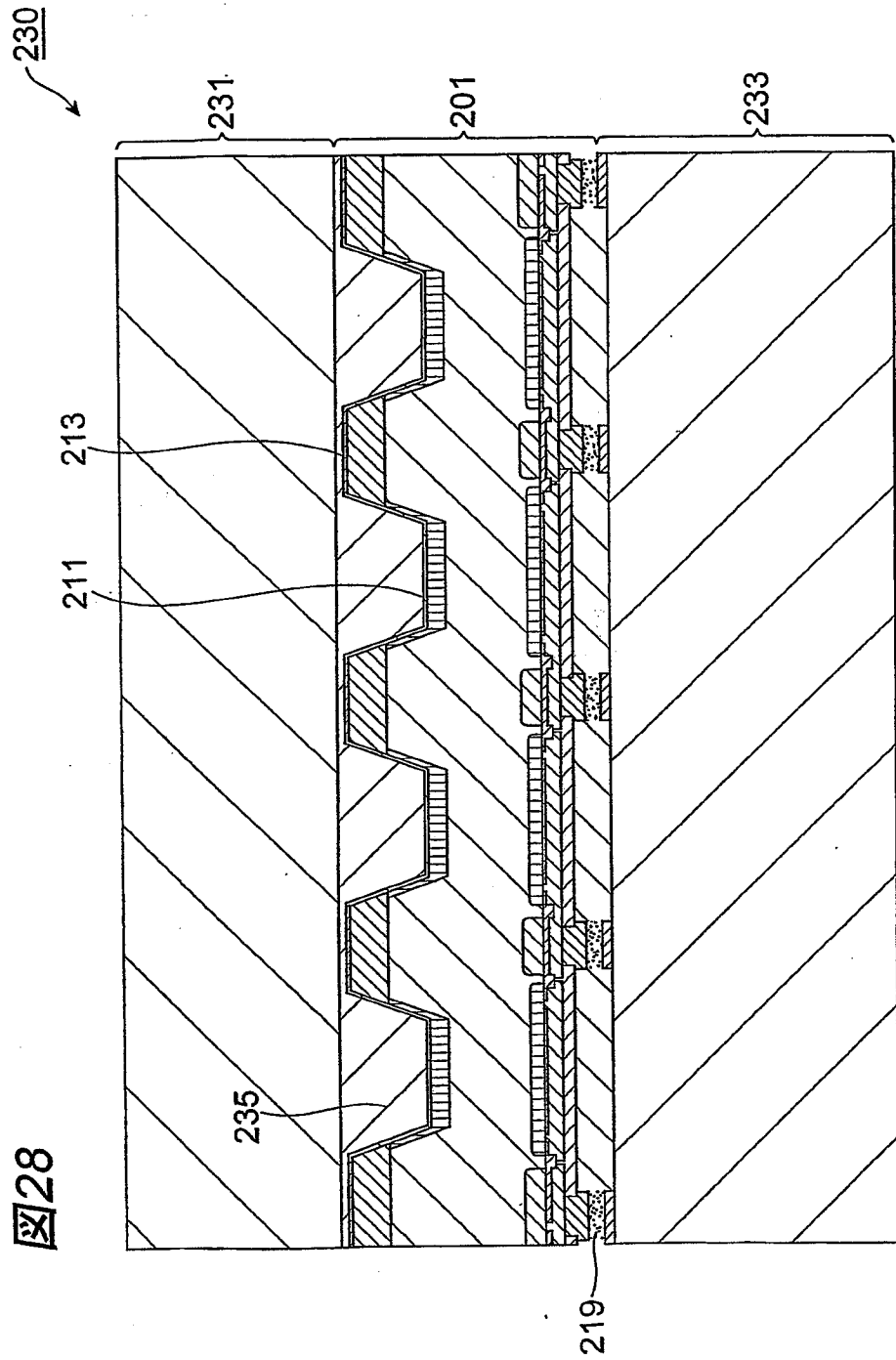


図27





28

図29A

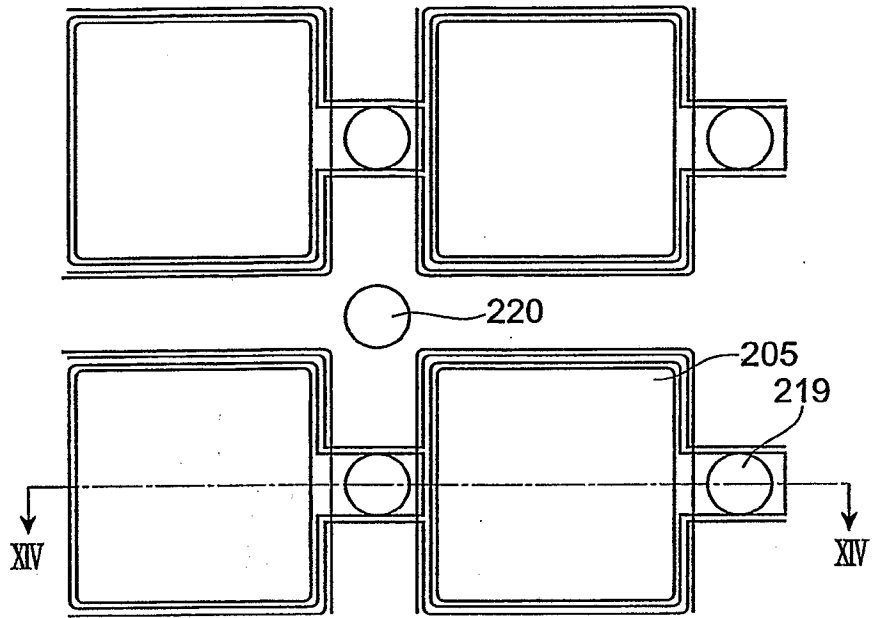


図29B

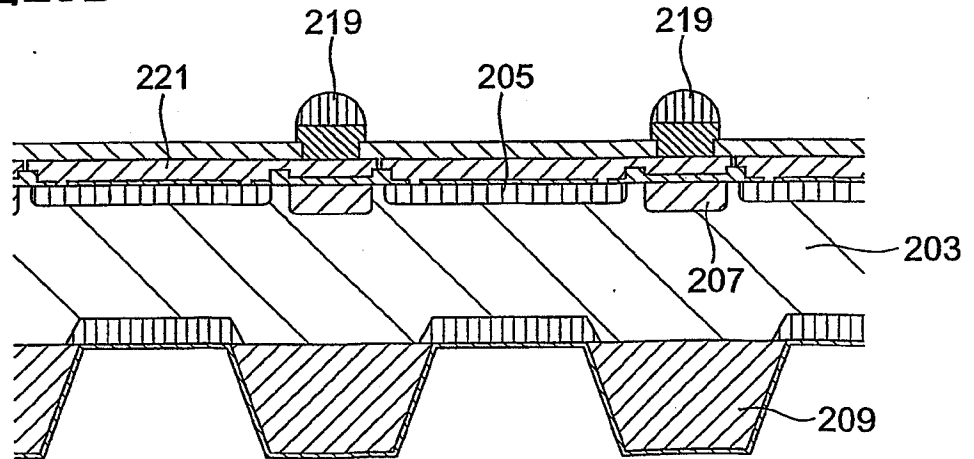


図30A

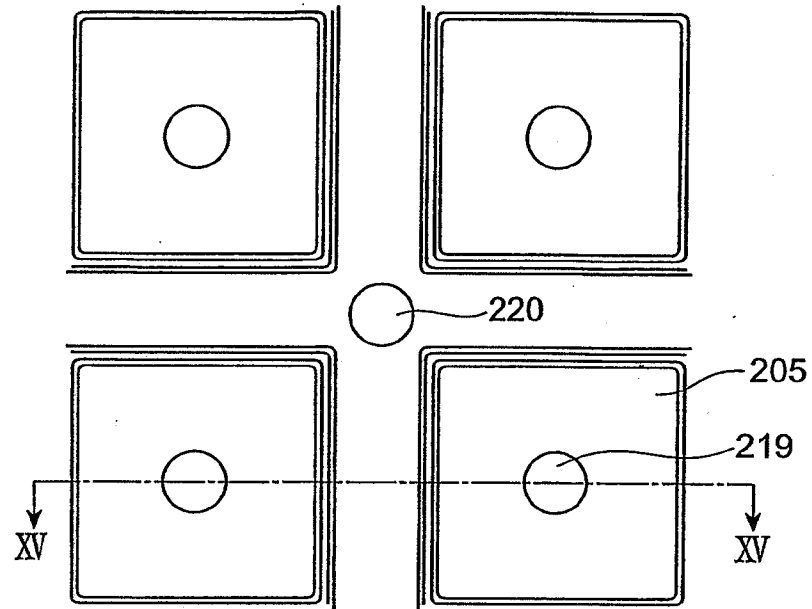


図30B

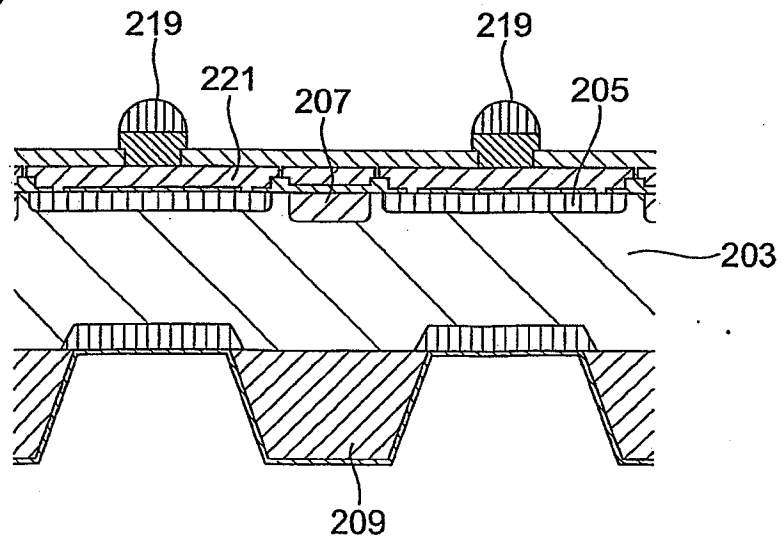




図31A

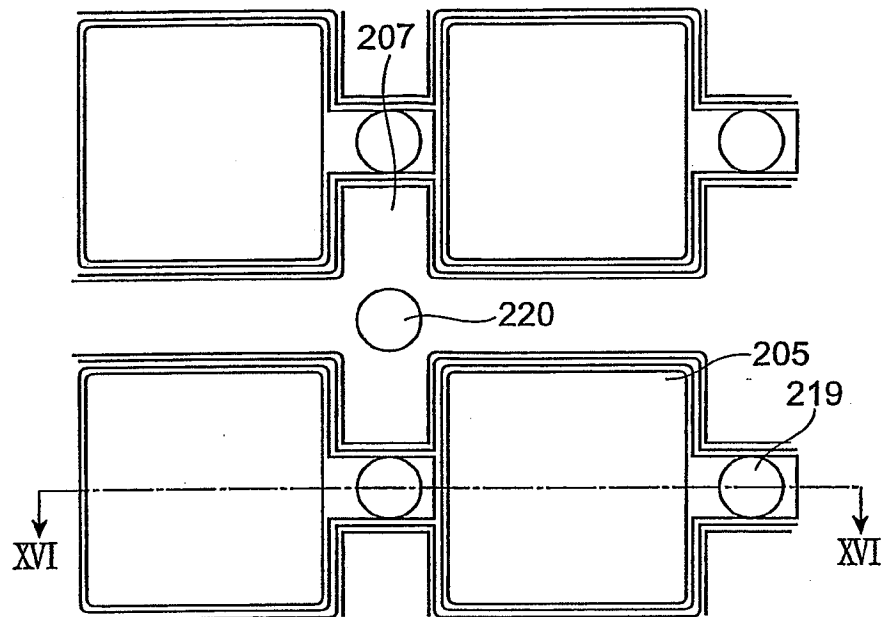
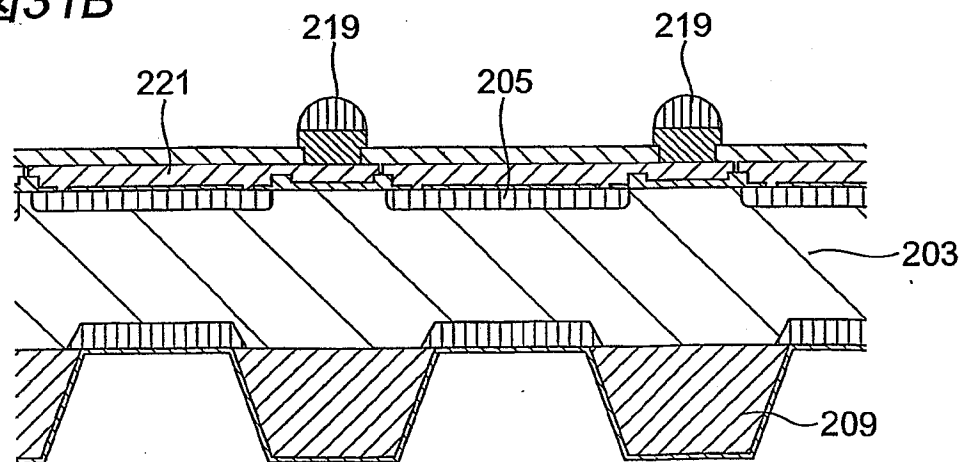
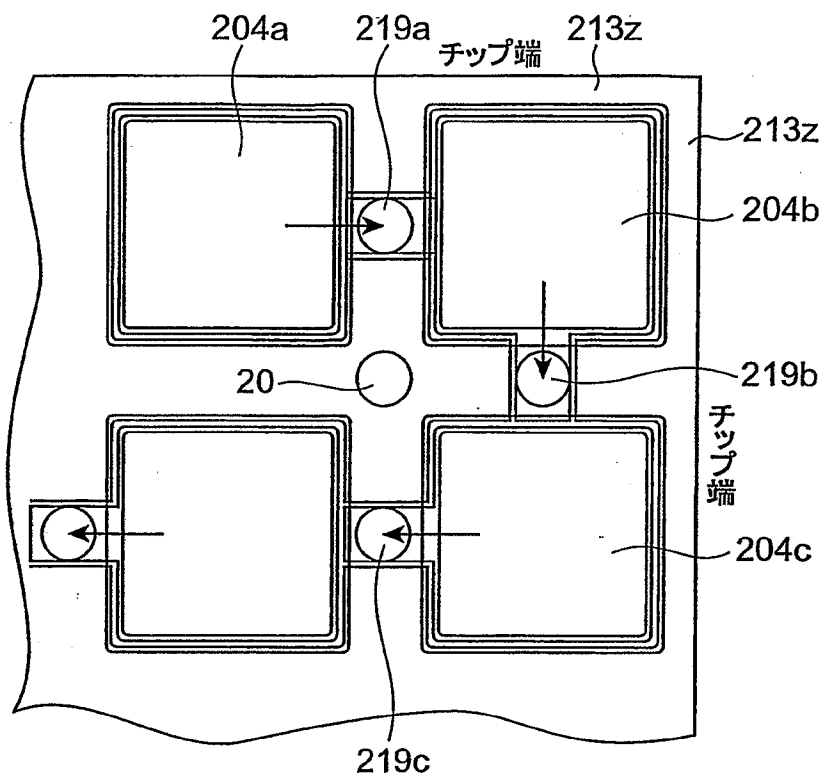


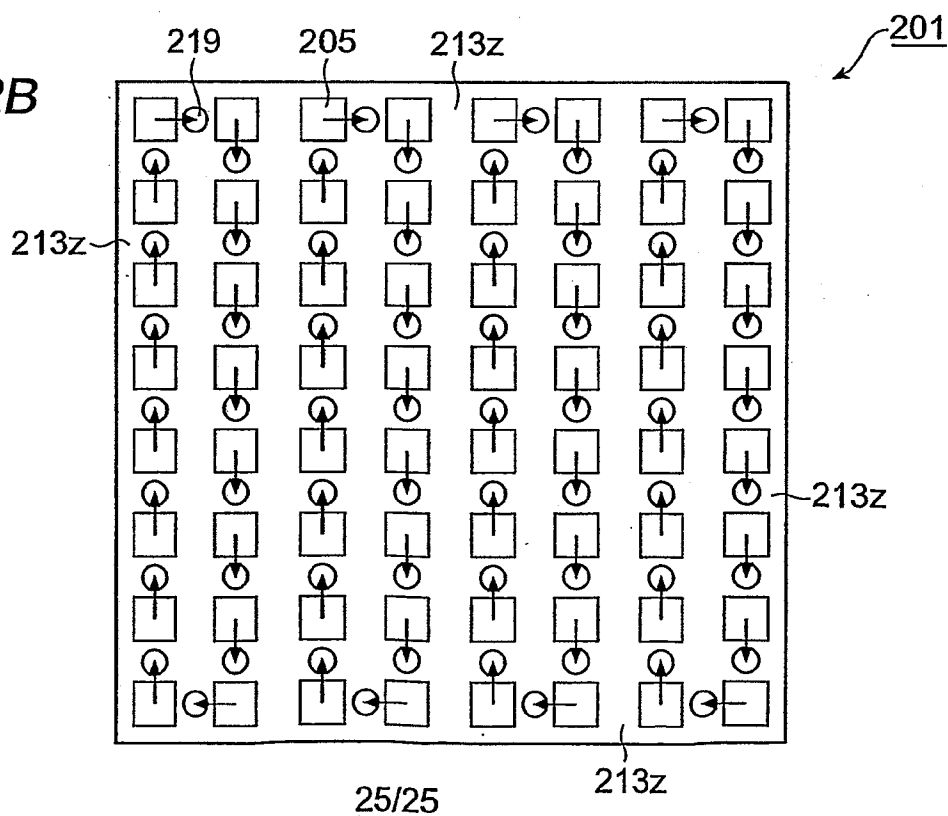
図31B



**図32A**



**図32B**



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/10093

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.<sup>7</sup> H01L27/14, G01T1/20, H04N5/32

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.<sup>7</sup> H01L27/14-27/146, G01T1/20, H04N5/32, H01L31/09

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JOIS

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 10-223873 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 21 August, 1998 (21.08.98), Par. Nos. [0015] to [0016], [0035] to [0041] (Family: none)	9-12, 15-17, 21, 22
Y	JP 2001-291892 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 19 October, 2001 (19.10.01), Full text & WO 01/75977 A1 & AU 4458601 A & EP 1280207 A1 & US 2003/0034496 A1	9-12, 15-17, 21, 22
A	JP 6-163968 A (Fujikura Ltd.), 10 June, 1994 (10.06.94), Full text (Family: none)	1-22

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:  
 "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance  
 "E" earlier document but published on or after the international filing date  
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)  
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means  
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention  
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone  
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art  
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
10 November, 2003 (10.11.03)

Date of mailing of the international search report  
25 November, 2003 (25.11.03)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/10093

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 5-150049 A (Shimadzu Corp.), 18 June, 1993 (18.06.93), Full text (Family: none)	1-22
A	JP 4-241458 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 28 August, 1992 (28.08.92), Full text (Family: none)	1-22

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H01L27/14, G01T1/20, H04N5/32

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H01L27/14-27/146, G01T1/20, H04N5/32,  
H01L31/09

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2003年
日本国実用新案登録公報	1996-2003年
日本国登録実用新案公報	1994-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)  
JOIS

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 10-223873 A (浜松ホトニクス株式会社) 1998. 08. 21, 段落番号【0015】-【0016】, 【0035】-【0040】 (ファミリーなし)	9-12, 15-17, 21, 22
Y	JP 2001-291892 A (浜松ホトニクス株式会社) 2001. 10. 19, 全文 & WO 01/75977 A1 & AU 4458601 A & EP 1280207 A1 & US 2003/0034496 A1	9-12, 15-17, 21, 22

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

## の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

10. 11. 03

国際調査報告の発送日

25.11.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)  
郵便番号100-8915  
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

河本 充雄



4M

9056

電話番号 03-3581-1101 内線 3462

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 6-163968 A (株式会社フジクラ) 1994. 06. 10, 全文 (ファミリーなし)	1-22
A	JP 5-150049 A (株式会社島津製作所) 1993. 06. 18, 全文 (ファミリーなし)	1-22
A	JP 4-241458 A (日本電信電話株式会社) 1992. 08. 28, 全文 (ファミリーなし)	1-22